



Relatório de Estágio Profissionalizante submetido para obtenção do  
grau de **Mestre em Gestão Ambiental**

# **Análise de eficiência de coagulantes em Estação de Tratamento de Água**

**Caso de estudo da Estação de Cancelas  
Águas do Centro Litoral (AdCL)**

Sónia Filipa Lindo Duarte Couceiro

Coimbra, 2018



Relatório de Estágio Profissionalizante submetido para obtenção do  
grau de **Mestre em Gestão Ambiental**

## **Análise de eficiência de coagulantes em Estação de Tratamento de Água**

### **Caso de estudo da Estação de Cancelas Águas do Centro Litoral (AdCL)**

**Orientadora:** Técnica Superior Catarina Figueiredo

**Co-orientador:** Prof. José Manuel Gonçalves

**Local de estágio:** Águas do Centro Litoral, SA – Direção de Operação de  
Abastecimento de Água

Sónia Filipa Lindo Duarte Couceiro

Coimbra, 2018

*Este Relatório de Estágio Profissionalizante foi elaborado expressamente para a obtenção de grau de Mestre de acordo com o despacho nº 5636/2015, de 27 de Maio, referente ao Regulamento do Ciclo de Estudos conducente à obtenção do grau de Mestre do Instituto Politécnico de Coimbra.*

## AGRADECIMENTOS

Dedico este espaço a todos os que me acompanharam nesta etapa, que me ajudaram a ultrapassar as dúvidas e problemas, que contribuíram para a minha formação académica e pessoal e que me fizeram sorrir mesmo em momentos difíceis.

À Águas do Centro Litoral por me dar a possibilidade de progredir com os estudos académicos e assim aplicar os conhecimentos adquiridos, para benefício da empresa e a nível pessoal.

Em especial, à Eng<sup>a</sup> Catarina Figueiredo por ter aceite este desafio e ajudado sempre! Ao laboratório da AdCL pela disponibilidade e tempo requerido para a realização do estágio, à Dr<sup>a</sup> Teresa Pacheco, Eng<sup>a</sup> Sandra Mendes, Sofia Guardado, Filomena Videira, Assunção Dionísio, Bárbara Lopes, Ricardo Carvalho e Marcos Monsanto, um bem haja.

Ao Prof. José Manuel Gonçalves e restantes professores do MGA, aos meus colegas da AdCL e de mestrado, por todos os momentos de ajuda, de esclarecimento, de disponibilidade e pelas orientações dadas ao longo do curso e durante o estágio, o que foi muito importante para o decorrer do mesmo.

Aos meus pais, irmãs, namorado e amigos por me terem apoiado, ajudado ao longo do estágio e durante toda a minha vida.

Um grande **OBRIGADA!**

## RESUMO

O estágio foi realizado no âmbito da unidade curricular “Estágio Profissionalizante” pertencente ao Mestrado em Gestão Ambiental da Escola Superior Agrária de Coimbra, e decorreu na empresa Águas do Centro Litoral, SA, na Direção de Operação de Abastecimento de Água, entre Fevereiro e Julho de 2018.

O objetivo deste trabalho era determinar a taxa de tratamento ótima na remoção da turvação, com o mínimo de quantidade de alumínio na água tratada considerando o pH, uma vez que este parâmetro tem influência no processo de coagulação e floculação.

Para o desenvolvimento deste trabalho, utilizou-se o *jar test*. Os coagulantes estudados foram o Sulfato de Alumínio líquido (nome comercial: KEMIRA ALS-LC), o Polihidroxiclorosulfato de alumínio (nome comercial: WAC AB) e a Solução Aquosa de Sulfato Hidróxido Cloreto de Alumínio (nome comercial: WAC).

O primeiro coagulante testado foi o Sulfato de Alumínio. Nos ensaios efetuados, diluído 50 vezes, variou-se o pH e a taxa de tratamento. Na análise dos resultados, e de acordo com a água no momento dos ensaios, concluiu-se que o pH ótimo foi de 7,5 com uma taxa de tratamento de 2,4 ml de coagulante por cada litro de amostra de água clorada.

O segundo coagulante testado foi o WAC AB. Variando o pH e a taxa de tratamento para uma diluição de 50 vezes, concluiu-se que o pH para obtenção de melhores resultados foi de 8,0, com uma taxa de tratamento de 4,3 ml de coagulante por cada litro de amostra de água clorada.

O último coagulante analisado, o WAC, também se variou o pH e a taxa de tratamento, diluído 50 vezes, chegando aos melhores resultados de turvação e alumínio com um pH de 7,5 e com uma taxa de tratamento de 4,2 ml de coagulante por cada litro de amostra de água clorada.

Assim, o coagulante selecionado para o processo em estudo foi o reagente WAC, tanto a nível de resultados como de preço.

**Palavras-chave:** Coagulação-Floculação, *jar test*, Coagulante, Taxa de Tratamento, pH, Alumínio

## ABSTRACT

The internship has been prepared under the discipline "Professional Internship" for the completion of the Master in Environmental Management at Escola Superior Agrária de Coimbra. The internship took place at Águas do Centro Litoral, SA – Direção de Operação de Abastecimento de Água from the period of February to July, 2018.

The goal of this work was to determinate the optimal treatment rate in the turbidity removal, with the minimum amount of aluminum in the treated water considering the pH, since this parameter has influence on the coagulation and flocculation process.

The *jar test* was used as the development of this work . The coagulants studied were Liquid Aluminum Sulphate (trade name: KEMIRA ALS-LC), Aluminum Polyhydroxychlorosulfate (trade name: WAC AB) and Aqueous Sulphate Hydroxide Aluminum Chloride Solution (trade name: WAC).

The first coagulant tested was Aluminum Sulphate. In the assays performed, diluted 50-fold, the pH and treatment rate were varied. In the analysis of the results, and according to the water at the time of the tests, it was concluded that the optimum pH was 7,5 with a treatment rate of 2,4 ml of coagulant per liter of chlorinated water sample.

The second coagulant tested was WAC AB. By varying the pH and treatment rate for a 50-fold dilution, it was concluded that the pH for best results was 8,0, with a treatment rate of 4,3 ml of coagulant per liter of chlorinated water sample.

The last coagulant analyzed, WAC, also varied the pH and treatment rate, diluted 50-fold, reaching the best turbidity and aluminum results with a pH of 7,5 and a treatment rate of 4,2 ml of coagulant per liter of chlorinated water sample.

So, the coagulant selected for the process under study was the WAC reagent, both in terms of results and price.

**Key-Words:** Coagulation-Flocculation, *jar test*, Coagulant, Treatment Rate, pH, Aluminum

## ABREVIATURAS

<b>AdCL</b>	Águas do Centro Litoral S.A.
<b>AdP</b>	Águas de Portugal
<b>Atm</b>	Atmosferas
<b>CI</b>	Controlo de Inspeção
<b>CR1</b>	Controlo de Rotina 1
<b>CR2</b>	Controlo de Rotina 2
<b>DOAA</b>	Direção de Operação de Abastecimento de Água
<b>ESAC</b>	Escola Superior Agrária de Coimbra
<b>ETA</b>	Estação de Tratamento de Águas
<b>MGA</b>	Mestrado em Gestão Ambiental
<b>NIST</b>	National Institute of Standards and Technology
<b>NPA</b>	Nível de Pleno Armazenamento
<b>UNT</b>	Unidades Nefelométricas de Turvação
<b>pH</b>	Potencial de Hidrogénio
<b>UV</b>	Ultravioleta
<b>VP</b>	Valor Paramétrico

# ÍNDICE

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1    Âmbito do relatório de estágio .....	1
1.2    Objetivos .....	2
1.3    Estrutura do Relatório.....	2
<b>2.    TRATAMENTO DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO.....</b>	<b>3</b>
2.1    Qualidade da Água para Consumo Humano.....	3
2.2    Processos de Tratamento .....	8
2.2.1    Considerações gerais .....	8
2.2.2    Coagulação-Floculação.....	10
2.2.3    Sedimentação/Decantação .....	14
2.2.4    Filtração .....	16
2.2.5    Desinfecção.....	18
<b>3. MATERIAL E METODOLOGIA.....</b>	<b>21</b>
3.1    Apresentação da Empresa .....	21
3.2    Estação de Tratamento de Água de Cancelas .....	24
3.2.1    Albufeira da Barragem da Louçainha II .....	25
3.2.2    Captações .....	26
3.2.3    Qualidade da água.....	26
3.2.4    Etapas de Tratamento .....	29
3.3    Metodologia .....	35
3.3.1    Jar Test .....	36
3.3.2    Determinação de parâmetros .....	37
3.4    Parte Experimental.....	44
<b>4.RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>47</b>
4.1    Sulfato de Alumínio .....	47
4.2    Polihidroxícloreto de alumínio - WAC AB.....	54
4.3    Solução Aquosa de Sulfato Hidróxido Cloreto de Alumínio - WAC .....	61
<b>5.CONCLUSÃO.....</b>	<b>69</b>
5.1    Perspetivas de Desenvolvimento de Trabalhos Futuros .....	70
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>72</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>76</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Representação gráfica da distribuição da água na Terra (adaptado de [2]) ...	4
Figura 2 – Distribuição do tamanho das partículas presentes na água (adaptado de [8]) .....	10
Figura 3 – Característica das partículas coloidais (adaptado de [10]) .....	11
Figura 4 – <i>Jar test</i> [9] .....	12
Figura 5 – Esquema ilustrativo dos processos coagulação e floculação (adaptado de [10]) .....	14
Figura 6 – Esquema ilustrativo de um tanque de sedimentação (adaptado de [12]) .....	15
Figura 7 – Esquema ilustrativo do funcionamento de um filtro sob pressão (adaptado de [13]) .....	17
Figura 8 - Quantificação do sistema multimunicipal de abastecimento e saneamento da AdCL [20] .....	22
Figura 9 - Representação do sistema multimunicipal de abastecimento de água da AdCL [20] .....	23
Figura 10 - Representação do sistema multimunicipal de saneamento da AdCL [20] ..	24
Figura 11 - Barragem da Louçainha II .....	25
Figura 12 - Albufeira da Louçainha II em NPA (16 de abril de 2014) .....	26
Figura 13 - Albufeira da Louçainha II em nível mínimo de armazenamento (08 de outubro de 2013) .....	26
Figura 14 – Representação do esquema de tratamento da ETA de Cancelas [22] .....	26
Figura 15 – Esquema de tratamento da ETA de Cancelas durante o período invernal [24] .....	27
Figura 16 - Esquema de tratamento da ETA de Cancelas durante o período estival [24] .....	27
Figura 17 - Evolução do valor médio mensal dos parâmetros cor, ferro, turvação e manganês na captação da Louçainha e do nível médio da água na albufeira da barragem da Louçainha II [24] .....	28
Figura 18 - Cascata de arejamento .....	29
Figura 19 - Armazenamento de cloro .....	29
Figura 20 - Câmara de mistura rápida .....	30
Figura 21 – Armazenamento do NaOH .....	31
Figura 22 – Armazenamento do coagulante .....	31
Figura 23 - Câmaras de mistura lenta, através de chicanas .....	31
Figura 24 - Decantadores .....	32
Figura 25 - Válvulas de guilhotina pneumáticas, para purga de lamas .....	32
Figura 26 - Reservatório de regularização de água decantada .....	33
Figura 27 - Bombas de elevação de água decantada para a filtração .....	33
Figura 28 - Filtros .....	33
Figura 29 - Potenciómetro TitraLab AT 1000, Hach .....	39
Figura 30 - Turbímetro 2100 N, Hach .....	39
Figura 31 - Fotómetro DR2800, Hach .....	40
Figura 32 - Esquematização do procedimento para a determinação do Ferro através do Kit FerroVer®, Hach [17] .....	41

Figura 33 - Esquematização do procedimento para a determinação do manganês através Method PAN 1-(2-Piridilazo)-2-Naftol®, Hach [18] **Error! Bookmark not defined.**

Figura 34 - Procedimento para a determinação do Alumínio por kit comercial LCK 301, Hach .....	43
Figura 35 – Valores de turvação para os ensaios de sulfato de alumínio (100X) sem modificação de pH .....	47
Figura 36 – Valores de turvação e concentrações de manganês, ferro e alumínio para os ensaios de sulfato de alumínio (100X) sem modificação de pH .....	48
Figura 37 – Remoção da turvação, manganês e ferro para os ensaios de sulfato de alumínio (100X) sem modificação de pH .....	48
Figura 38 - Valores de turvação para os ensaios de sulfato de alumínio (100X) com ajuste de pH para 7,5.....	49
Figura 39 - Valores de turvação e concentração de manganês, ferro e alumínio para os ensaios de sulfato de alumínio (50X) sem modificação de pH .....	50
Figura 40 - Remoção da turvação, manganês e ferro para os ensaios de sulfato de alumínio (50X) sem modificação de pH .....	50
Figura 41 - Valores de turvação para os ensaios de sulfato de alumínio (50X) com ajuste de pH para 7,5.....	51
Figura 42 - Valores de turvação e concentração de manganês, ferro e alumínio para os ensaios de sulfato de alumínio (50X) com ajuste de pH para 7,5 .....	51
Figura 43 - Remoção da turvação, manganês e ferro para os ensaios de sulfato de alumínio (50X) com ajuste de pH para 7,5 .....	52
Figura 44 - Valores de turvação para os ensaios de sulfato de alumínio (50X) com ajuste de pH para 8,0.....	52
Figura 45 - Valores de turvação e concentração de manganês, ferro e alumínio para os ensaios de sulfato de alumínio (50X) com ajuste de pH para 8,0 .....	53
Figura 46 - Remoção da turvação, manganês e ferro para os ensaios de sulfato de alumínio (50X) com ajuste de pH para 8,0 .....	53
Figura 47 - Valores de turvação para os ensaios de WAC AB (100X) sem modificação de pH.....	54
Figura 48 - Valores de turvação e concentração de manganês, ferro e alumínio para os ensaios de WAC AB (100X) sem modificação de pH.....	55
Figura 49 - Remoção da turvação, manganês e ferro para os ensaios de WAC AB (100X) sem modificação de pH.....	55
Figura 50 - Valores de turvação para os ensaios de WAC AB (100X) com ajuste de pH para 7,5 .....	56
Figura 51 - Valores de turvação e concentração de manganês, ferro e alumínio para os ensaios de WAC AB (50X) sem modificação de pH .....	57
Figura 52 - Remoção da turvação, manganês e ferro para os ensaios de WAC AB (50X) sem modificação de pH.....	57
Figura 53 - Valores de turvação para os ensaios de WAC AB (50X) com ajuste de pH para 7,5 .....	58
Figura 54 - Valores de turvação e concentração de manganês, ferro e alumínio para os ensaios de WAC AB (50X) com ajuste de pH para 7,5 .....	59
Figura 55 - Remoção da turvação, manganês e ferro para os ensaios de WAC AB (50X) com ajuste de pH para 7,5 .....	59

Figura 56 - Valores de turvação para os ensaios de WAC AB (50X) com ajuste de pH para 8,0 .....	59
Figura 57 - Valores de turvação e concentração de manganês, ferro e alumínio para os ensaios de WAC AB (50X) com ajuste de pH para 8,0 .....	60
Figura 58 - Remoção da turvação, manganês e ferro para os ensaios de WAC AB (50X) com ajuste de pH para 8,0 .....	60
Figura 59 - Valores de turvação para os ensaios de WAC (100X) sem modificação de pH .....	61
Figura 60 - Valores de turvação e concentração de manganês, ferro e alumínio para os ensaios de WAC (100X) sem modificação de pH .....	62
Figura 61 - Remoção da turvação, manganês e ferro para os ensaios de WAC (100X) sem modificação de pH .....	62
Figura 62 - Valores de turvação para os ensaios de WAC (100X) com ajuste de pH para 7,5 .....	63
Figura 63 - Valores de turvação e concentração de manganês, ferro e alumínio para os ensaios de WAC (50X) sem modificação de pH .....	63
Figura 64 - Remoção da turvação, manganês e ferro para os ensaios de WAC (50X) sem modificação de pH .....	64
Figura 65 - Valores de turvação para os ensaios de WAC (50X) com ajuste de pH para 7,5 .....	64
Figura 66 - Valores de turvação e concentração de manganês, ferro e alumínio para os ensaios de WAC (50X) com ajuste de pH para 7,5 .....	65
Figura 67 - Remoção da turvação, manganês e ferro para os ensaios de WAC (50X) com ajuste de pH para 7,5 .....	65
Figura 68 - Valores de turvação para os ensaios de WAC (50X) com ajuste de pH para 8,0 .....	66
Figura 69 - Valores de turvação e concentração de manganês, ferro e alumínio para os ensaios de WAC (50X) com ajuste de pH para 8,0 .....	66
Figura 70 - Remoção da turvação, manganês e ferro para os ensaios de WAC (50X) com ajuste de pH para 8,0 .....	67

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Valores paramétricos para a água destinada ao consumo humano estipulados no Decreto-Lei nº 152/2017 de 7 de dezembro[6] .....	7
Tabela 2 – Funções das principais operações/processos unitários de tratamento aplicáveis a águas destinadas a abastecimento e em que ETA se inserem, de águas superficiais e/ou águas subterrâneas. (adaptado de [1]) .....	9
Tabela 3 – Demonstração de resultados obtidos em cada teste .....	44
Tabela 4 – Identificação do tamanho dos flocos através de inspeção visual .....	45
Tabela 5 - Identificação da velocidade de sedimentação através de inspeção visual ...	46
Tabela 6 – Melhores resultados obtidos para cada reagente .....	67

# 1

## Capítulo

### 1. INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos, tem-se registado um aumento do consumo de água (nos usos domésticos, industriais e na agricultura) e da preocupação da proteção e preservação das massas de água. Então, desde sempre o ser humano tem estudado o melhor modo de encontrar água para consumo.

#### 1.1 Âmbito do relatório de estágio

Este documento, enquadrado no Mestrado em Gestão Ambiental da Escola Superior Agrária de Coimbra (ESAC), constitui o relatório de um estágio realizado na empresa Águas do Centro Litoral, SA (AdCL), do Grupo Águas de Portugal (AdP), na Direção de Operação de Abastecimento de Água (DOAA). O estágio, com início em Fevereiro de 2018 e término a Julho do mesmo ano, intitulava-se “Análise de eficiência de coagulantes em Estação de Tratamento de Água. Caso de estudo da Estação de Cancelas, Águas do Centro Litoral”.

O tema proposto tem como principal objetivo, a seleção de um coagulante tendo em consideração o prazo de armazenamento e a sua eficiência no processo de tratamento da ETA de Cancelas, uma vez que o coagulante utilizado, degrada-se ao longo do tempo de armazenagem, notando-se uma diferença significativa do aspeto do reagente e também nos resultados, tendo que ser rejeitado.

Para o desenvolvimento deste trabalho utilizou-se o teste de jarros, mais conhecido por *jar test*, onde se estudou a interação do pH e a concentração de cada coagulante, na tentativa de obter um teor mínimo de alumínio na água tratada e ao

mesmo tempo a máxima remoção de turvação. Os coagulantes estudados foram o Sulfato de Alumínio Líquido (nome comercial: KEMIRA ALS-LC), o Polihidroxiclorosulfato de alumínio (nome comercial: WAC AB) e a Solução Aquosa de Sulfato Hidróxido Cloreto de Alumínio (nome comercial: WAC) – coagulante idêntico ao utilizado atualmente na ETA.

## 1.2 Objetivos

O principal objetivo da realização deste estudo consiste em testar vários coagulantes e selecionar o mais eficaz no processo de tratamento em estudo. Para tal definiram-se os seguintes objetivos específicos:

- 1- Avaliar a eficiência de vários tipos de coagulante vs coagulante utilizado (nome comercial: KEMIRA PAX-XL 10, semelhante ao WAC) no processo de coagulação-floculação da ETA de Cancelas;
- 2- Avaliar a influência do pH na otimização do processo de coagulação-floculação; e
- 3- Propor a solução mais viável tendo em consideração o prazo de armazenamento do coagulante vs a sua eficiência no processo de tratamento.

## 1.3 Estrutura do Relatório

O presente relatório foi organizado em 5 capítulos. O **Capítulo 1** apresenta uma breve introdução ao relatório, âmbito e objetivos. De seguida, no **Capítulo 2**, a Fundamentação Teórica – aborda o tratamento de água para consumo humano, com incidência na qualidade da água para abastecimento e descreve-se alguns dos processos de tratamento de água. O **Capítulo 3**, intitulado por Material e Metodologia, apresenta a empresa que integrou o estágio, a instalação cujo processo foi o objeto em estudo - ETA de Cancelas - e de seguida a metodologia utilizada na parte experimental, o *jar test* e procedimentos experimentais de análise dos parâmetros em estudo. O **Capítulo 4** compila os resultados obtidos e apresenta a sua análise. Por fim, a Conclusão e Perspetivas de desenvolvimento de trabalhos futuros, encontram-se no **Capítulo 5**.

# Capítulo 2

## 2. TRATAMENTO DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO

Água, é um dos elementos da natureza mais comum na face da terra, é um líquido incolor e sem odor (quando pura). Quando não apresenta estas características não deve ser ingerida (não é potável); evapora a uma temperatura de 100°C e solidifica a uma temperatura de 0°C, à pressão atmosférica normal. É a bebida mais saudável e pura, pelo que tem um papel muito importante na sobrevivência dos seres vivos.

É fundamental ter presente que a água é um bem essencial para todas as espécies vivas e para isso é necessário implementar medidas de proteção e poupança, para reduzir o seu uso e a sua poluição. Ao modificar a sua composição, a água pode tornar-se um veículo de doenças e ser prejudicial para o Homem [7].

### 2.1 Qualidade da Água para Consumo Humano

A água surgiu durante as primeiras fases de formação do nosso planeta e distribuiu-se por três reservatórios principais: os oceanos, os continentes e a atmosfera onde a água circula continuamente na natureza – o ciclo da água ou hidrológico. Este ciclo apresenta como conceito o movimento e a troca de água nos seus diferentes estados físicos: sólido, líquido e gasoso[1].

Apesar de cobrir cerca de 2/3 da superfície do planeta, a maior parte da água não se encontra disponível para utilização humana. Os oceanos representam 97% da água do planeta. Dos 3% restantes, cerca de 2,38% estão ligados aos gelos polares, glaciares, atmosfera e humidade dos solos, onde apresentam o inconveniente de serem anualmente renováveis numa fração muito pequena. Assim, 0,62% é a percentagem com que o Homem pode contar para a sua sobrevivência, e está

associada aos rios, lagos de água doce e aquíferos<sup>1</sup> subterrâneos. De salientar, que embora a água na Terra seja constante, a sua distribuição tem-se alterado ao longo do tempo[1]. As reservas são limitadas e a sua escassez tende a aumentar com a utilização descuidada.

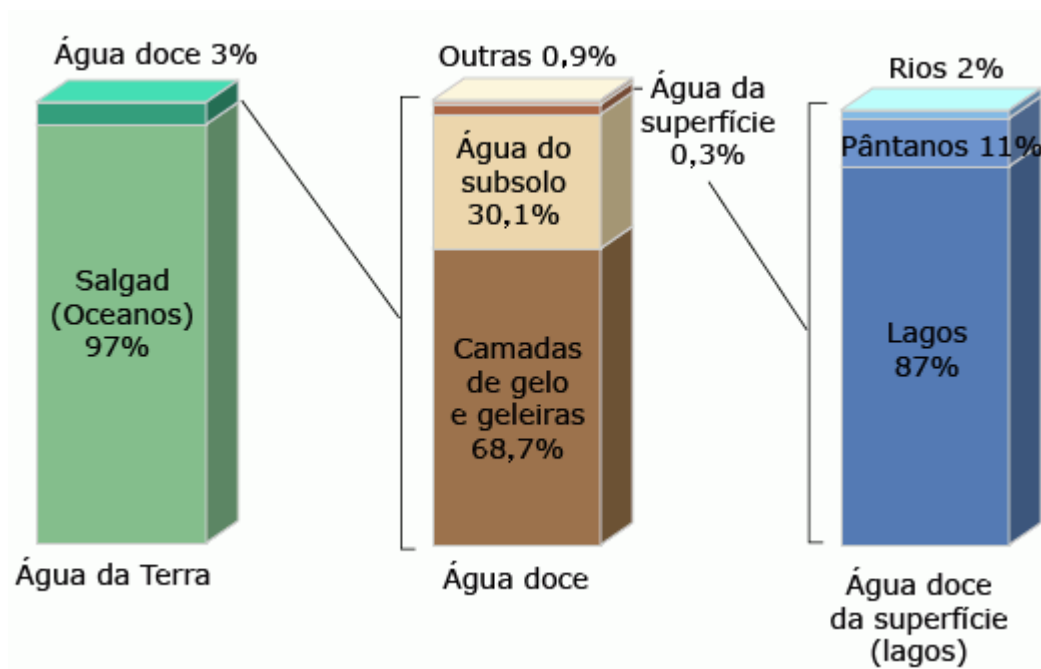


Figura 1 - Representação gráfica da distribuição da água na Terra (adaptado de [2])

As águas naturais podem dividir-se em quatro grupos:

- ◆ **Águas subterrâneas** encontram-se sempre em contacto com o solo e ao abrigo de fontes de poluição, quer esteja estagnada ou em circulação. Distingue-se por apresentarem características estáveis ao longo do tempo. Algumas apresentam propriedades terapêuticas. Estas águas contêm uma quantidade reduzida de matéria orgânica natural e por regra, são isentas de microrganismos patogénicos;
- ◆ **Águas de superfície** estão em locais como, rios, lagos, albufeiras ou reservatórios de armazenamento. Geralmente, com uma grande variedade de contaminantes, alguns patogénicos.
- ◆ **Águas do mar** podem ser consideradas como uma fonte de abastecimento quando não é viável o recurso a uma fonte de água doce, têm uma elevada

<sup>1</sup> Um aquífero é um local de armazenamento de água subterrânea; contém rochas porosas e permeáveis, de modo a que a circulação de água seja facilitada. Estas características irão permitir que a água seja renovada, pois estes locais são uma fonte de água [2].

concentração de sais dissolvidos, cerca de 300 vezes superior à concentração média dos sais dissolvidos de uma água de um rio;

- **Águas das chuvas** são uma boa fonte de abastecimento a pequenas regiões remotas e onde sejam escassas as fontes de água doce. Ao contrário das águas do mar, estas apresentam um baixo nível de sais dissolvidos, cerca de 15 vezes inferior à concentração média dos sais dissolvidos de uma água de um rio.

A água para consumo humano é, em regra, obtida a partir de água doce de origens superficiais ou subterrâneas. A escolha entre estas duas possibilidades é condicionada pela dimensão da população servida (os reservatórios superficiais permitem a extração de maiores caudais) mas, também, da presença de aquíferos e das funções estratégicas em zonas sujeitas a secas. Contudo, este recurso pode conter contaminantes de origem natural ou antropogénica, pelo que podem não cumprir os requisitos legais de águas para consumo, impondo-se o seu tratamento prévio[4].

A água potável é aquela que pode ser ingerida por humanos sem causar patologias. Para tal, as águas naturais disponíveis, frequentemente necessitam de tratamentos passando a ser designadas por águas para consumo humano. As características finais das águas de consumo estão bem definidas em documentos normativos[3].

O conselho da União Europeia adotou a **Diretiva 98/83** de 3 de novembro de 1998 relativamente à qualidade da água destinada ao consumo humano. A presente diretiva diz respeito à qualidade da água destinada ao consumo humano e tem por objetivo proteger a saúde humana dos efeitos nocivos resultantes de qualquer contaminação da água destinada ao consumo humano, assegurando a sua salubridade e limpeza[25]. Em 2015, a **Diretiva 2015/1787** da Comissão Europeia de 6 de outubro, altera os anexos II e III da Diretiva 98/83/CE [26]. Assim, este diploma bem impor que os Estados-membros terão de adotar todas as medidas necessárias para garantir a realização de um controlo regular da qualidade da água destinada ao consumo humano, verificando se a água colocada à disposição dos consumidores cumpre os requisitos definidos nas Diretivas.

De acordo com as diretivas, uma água destinada ao abastecimento público deve no mínimo obedecer/ter as seguintes características:



- ◆ Não conter nenhum microrganismo, parasita ou substância em quantidade ou concentração que possa constituir um perigo potencial para a saúde humana;
- ◆ Ter uma composição onde os consumidores não questionem a sua segurança, ou seja, ser límpida, incolor, inodora, fresca e de sabor agradável;
- ◆ Não ser agressiva, nem incrustante ao longo do sistema de abastecimento de modo a não provocar a deterioração do mesmo[5].

As entidades gestoras em baixa de sistemas de abastecimento público devem, tendencialmente, disponibilizar, por rede fixa ou outros meios, água própria para consumo humano devidamente controlada, em quantidade que satisfaça as necessidades básicas da população e em qualidade, na sua área geográfica de influência[5].

Em Portugal, o controlo da qualidade da água é efetuado de acordo com o **Decreto-Lei nº 306/2007** de 27 de agosto alterado/complementado pelo **Decreto-Lei nº 152/2017** de 7 de dezembro. Ambos definem regras sobre o controlo da qualidade da água para consumo humano. O primeiro, estabeleceu que o controlo da qualidade da água passava a ser feito em torneira do consumidor e definiu a necessidade de regulamentação das situações em que a gestão e a exploração de um sistema de abastecimento público de água estão sob a responsabilidade de duas ou mais entidades gestoras. O segundo, procede à segunda alteração ao Decreto-Lei n.º 306/2007, de 27 de agosto, definindo novas regras para o controlo da qualidade, a frequência com que se controla a qualidade da água para consumo passa a ser flexível (objetivo de reduzir custos), desde que não se coloque a saúde humana em risco, e surge com a necessidade das entidades gestoras passarem a ter um plano de emergência. É nestes diplomas que aparecem definidos os valores paramétricos que a água destinada a consumo humano deve respeitar.

Um valor paramétrico (VP), é o valor máximo ou mínimo fixado para cada um dos parâmetros a controlar[5]. A Tabela 1, indica os valores estipulados das partes I, II e III do Anexo I do Decreto-Lei nº 152/2017 de 7 de dezembro.

**Tabela 1 - Valores paramétricos para a água destinada ao consumo humano estipulados no Decreto-Lei nº 152/2017 de 7 de dezembro[6]**

Parâmetros	Unidade	Valor Paramétrico
<b>Parte I - Parâmetros Microbiológicos</b>		
<b>Escherichia coli (E coli)</b>	Número/100 ml	0
<b>Enterococos</b>	Número/100 ml	0
<b>Parte II – Parâmetros químicos</b>		
<b>Acrilina</b>	µg/l	0,10
<b>Antimônio</b>	µg/l Sb	5,0
<b>Arsénio</b>	µg/l As	10
<b>Benzeno</b>	µg/l	1,0
<b>Benzo(a)pireno</b>	µg/l	0,010
<b>Boro</b>	µg/l B	1,0
<b>Bromatos</b>	µg/l BrO <sub>3</sub>	10
<b>Cádmio</b>	µg/l Cd	5,0
<b>Cianetos</b>	µg/l CN	50
<b>Chumbo</b>	µg/l Pb	10
<b>Cloreto de vinilo</b>	µg/l	0,50
<b>Crômio</b>	µg/l Cr	50
<b>Cobre</b>	µg/l Cu	2,0
<b>1,2-dicloroetano</b>	µg/l	3,0
<b>Epicloridrina</b>	µg/l	0,10
<b>Fluoretos</b>	µg/l F	1,5
<b>Hidrocarbontos aromáticos policíclicos (HAP)</b>	µg/l	0,10
<b>Mercúrio</b>	µg/l Hg	1,0
<b>Níquel</b>	µg/l Ni	20
<b>Nitratos</b>	µg/l NO <sub>3</sub>	50
<b>Nitritos</b>	µg/l NO <sub>2</sub>	0,50
<b>Pesticidas individual</b>	µg/l	0,10
<b>Pesticidas – total</b>	µg/l	0,50
<b>Selénio</b>	µg/l Se	10
<b>Tetracloroetano e Tricloroetano</b>	µg/l	10
<b>Trihalometanos (THM)</b>	µg/l	100 80 (Ponto de Entrega)
<b>Parte III – Parâmetros Indicadores</b>		
<b>Alumínio</b>	µg/l Al	200
<b>Amônio</b>	mg/l NH <sub>4</sub>	0,50
<b>Bactérias coliformes</b>	N/100 ml	0
<b>Cálcio</b>	mg/l Ca	-
<b>Carbono Orgânico Total (COT)</b>	mg/l C	Sem alteração anormal
<b>Cheiro, a 25°C</b>	Fator de diluição	3
<b>Cloretos</b>	mg/l Cl	250
<b>Cloritos</b>	mg/l ClO <sub>2</sub>	0,7
<b>Cloratos</b>	mg/l ClO <sub>3</sub>	0,7
<b>Clostridium perfringens (incluindo esporos)</b>	N/100 ml	0
<b>Condutividade</b>	µS/cm a 20°C	2500
<b>Cor</b>	mg/l PtCo	20
<b>Desinfetante residual</b>	mg/l	-
<b>Dureza total</b>	mg/l CaCO <sub>3</sub>	-
<b>Ferro</b>	µg/l Fe	200
<b>Magnésio</b>	mg/l Mg	-
<b>Manganês</b>	µg/l Mn	50
<b>Microcistinas – LR total</b>	µg/l	1
<b>Número de colônias a 22°C</b>	N/ml a 22°	Sem alteração anormal
<b>Número de colônias a 36°C</b>	N/ml a 36°C	Sem alteração anormal
<b>Oxidabilidade</b>	mg/l O <sub>2</sub>	5,0
<b>pH</b>	unidades de pH	≥ 6,5 e ≤ 9,5
<b>Sabor, a 25°C</b>	Fator de diluição	3
<b>Sódio</b>	mg/l Na	200
<b>Sulfatos</b>	mg/l SO <sub>4</sub>	250
<b>Turvação</b>	UNT	4
<b>Dose Indicativa (DI)</b>	mSv	0,10
<b>Radão</b>	Bq/l	500
<b>Trítio</b>	Bq/l	100

Dependendo da frequência de análise, os parâmetros a monitorizar podem ser subdivididos em três grupos. Controlo de Rotina 1 (CR1), que inclui os parâmetros microbiológicos, e é o grupo que tem de ser efetuado mais frequentemente, pois os eventuais perigos para a saúde pública são mais imediatos, caso ocorra contaminação. O segundo grupo, Controlo de Rotina 2 (CR2), engloba os parâmetros organoléticos e de natureza físico-química, para os quais as análises efetuadas são menos frequentes do que as do grupo CR1. O último grupo, Controlo de Inspeção (CI),

inclui parâmetros considerados como substâncias indesejáveis e outros correspondentes a substâncias tóxicas. As análises deste último grupo são efetuadas em menor número e em intervalos de tempo mais longos[1].

A determinação dos parâmetros correspondentes ao CR2 implica, em simultâneo, a determinação dos parâmetros contidos no CR1 e, identicamente, o CI implica os controlos de rotina 1 e 2[5].

## **2.2 Processos de Tratamento**

### **2.2.1 Considerações gerais**

A seleção do processo de tratamento depende das características da água bruta, dos requisitos (qualidade e quantidade) exigidos à água final, das condições físicas e económicas, da flexibilização do tratamento de modo a permitir futuras alterações ou ampliações, com vista a reduzir o impacte ambiental (resíduos e energia consumida) e das características dos sistemas de distribuição. Assim, a seleção do mesmo torna-se uma tarefa complexa[4].

Os diversos tratamentos aplicáveis a uma água bruta visam a melhoria da qualidade para a abastecimento e têm por base várias razões, tais como:

- ◆ Higiénicas – remoção de bactérias, elementos nocivos, mineralização excessiva, teores elevados de compostos orgânicos, protozoários e outros microrganismos;
- ◆ Estéticas – correção da cor, sabor e turvação;
- ◆ Económicas – redução da corrosibilidade, dureza, cor, turvação, ferro, odor, sabor, manganês, etc[1].

O tratamento de água para abastecimento processa-se em várias etapas que se interligam num determinado espaço físico – Estação de Tratamento de Água (ETA).

Convencionalmente, utiliza-se um conjunto diverso de operações e processos unitários, como exemplo, coagulação, floculação, sedimentação, filtração e desinfecção. Outros tratamentos utilizados são também a precipitação química e/ou a permuta iónica para a remoção de dureza, sobretudo, em processos industriais. A adsorção em carvão ativado é eficiente na remoção da cor, cheiro e sabor. Recentemente, processos por membranas como a osmose inversa, a nano filtração e a eletrodiálise

têm sido aplicados com sucesso no tratamento de águas mas carecem ainda de uma redução de custos de exploração, atualmente ainda pouco competitivos[4].

Classifica-se como uma operação unitária quando se refere a processos físicos e processo unitário quando se refere a processos químicos ou biológicos. Na tabela seguinte definem-se as funções das principais operações e processos unitários de tratamento aplicáveis a águas destinadas a abastecimento, assim como onde se aplicam (ETA de águas superficiais ou subterrâneas).

**Tabela 2 – Funções das principais operações/processos unitários de tratamento aplicáveis a águas destinadas a abastecimento e em que ETA se inserem, de águas superficiais e/ou águas subterrâneas. (adaptado de [1])**

Tratamento	Função	ETA Superficiais	ETA Subterrânea
<b>Operações Unitárias</b>			
<b>Gradagem</b>	Separação de impurezas grosseiras	X	
<b>Desarenação</b>	Remoção de areias	X	X
<b>Arejamento</b>	Remoção de voláteis e precipitação de metais	X	X
<b>Floculação</b>	Aglutinação de partículas em suspensão	X	X
<b>Sedimentação</b>	Remoção de partículas em suspensão	X	X
<b>Filtração</b>	Remoção de partículas finais após sedimentação	X	X
<b>Adsorção</b>	Remoção de substâncias dissolvidas	X	
<b>Armazenamento</b>	Conservação da água tratada antes da distribuição	X	X
<b>Processos Unitários</b>			
<b>Coagulação</b>	Destabilização de partículas coloidais	X	
<b>Estabilização</b>	Correção de pH, alcalinidade e teor de cálcio	X	X
<b>Desinfecção</b>	Remoção de microrganismos patogénicos	X	X
<b>Osmose Inversa</b>	Remoção de teores elevados de iões dissolvidos	X	X
<b>Eletrodíálise</b>	Remoção de teores elevados de iões dissolvidos	X	X

Nos seguintes capítulos, serão mencionados os processos de tratamento de Coagulação-Floculação, Sedimentação, Filtração e Desinfecção, por serem os mais utilizados e necessários no estudo.

### 2.2.2 Coagulação-Floculação

Os termos coagulação e floculação são frequentemente usados como sinónimos, ambos dizem respeito ao processo integral de aglomeração de partículas[7].

O objetivo principal de um processo de coagulação-floculação é promover a agregação de coloides em suspensão, de modo a que adquiram densidade suficiente para precipitar e assim serem removidos. Assim, o processo elimina turvação, cor aparente, matéria orgânica natural e microrganismos[4].

As partículas, presentes numa água, em suspensão podem apresentar vários diâmetros. Existem partículas que sedimentam e outras de menores dimensões que nunca chegam a sedimentar, designadas por coloidais. As partículas coloidais apresentam diâmetros compreendidos entre 0,01 e 1  $\mu\text{m}$  (Figura 2). São estas partículas que são responsáveis, na maioria das vezes, pela cor e turvação presente nas águas brutas.

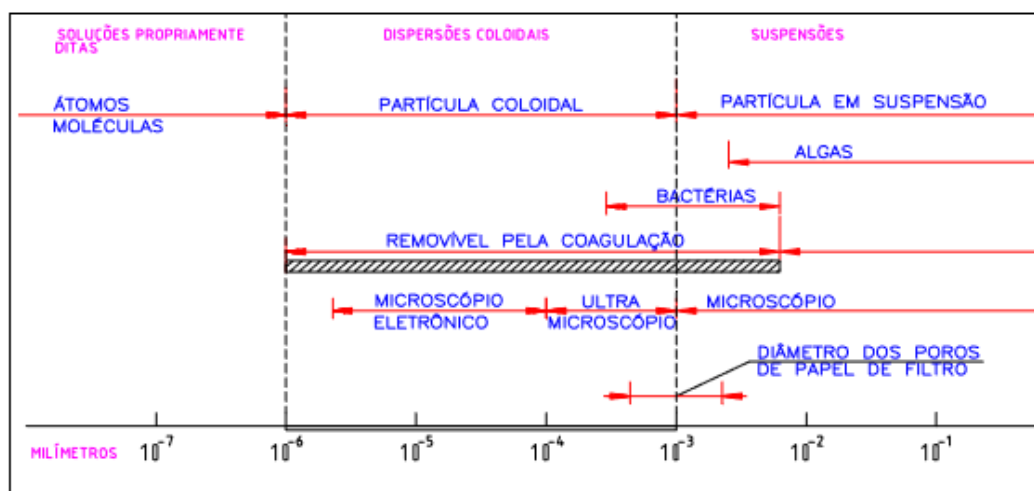


Figura 2 – Distribuição do tamanho das partículas presentes na água (adaptado de [8])

As partículas coloidais podem ter origem natural ou superficial. As de origem natural têm a possibilidade de possuir natureza orgânica ou inorgânica quando resultam da decomposição de componentes solúveis ou da desagregação de material insolúvel. As partículas coloidais com origem artificial derivam essencialmente de descargas de efluentes domésticos, industriais e agrícolas. De uma forma genérica, pode afirmar-se que a turvação de uma água natural se deve à presença de partículas inorgânicas insolúveis, uma vez que apresentam pouca afinidade com a água, não se dispersam espontaneamente, criando um sistema bifásico (partículas hidrofóbicas). A cor resulta da contribuição de material orgânico solúvel e de hidróxidos metálicos,

principalmente de ferro, apresentam uma dispersão espontânea na água, criando um sistema unifásico (partículas hidrofílicas)[1].

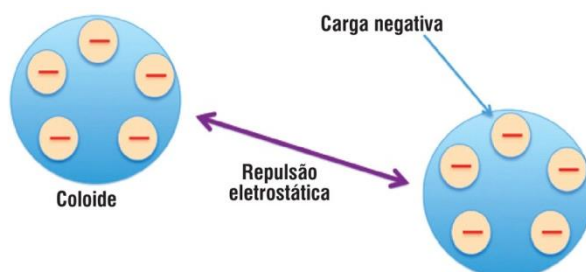
Assim, se as partículas não forem removidas, podem permanecer durante muito tempo num meio dispersivo, sendo necessário aumentar a sua dimensão, promovendo a formação de flocos passíveis de serem removidos por sedimentação e/ou filtração – Processo de Coagulação-Floculação.

A **coagulação**, uma vez que utiliza produtos químicos, é um processo unitário, ou seja, é um processo químico. Os reagentes são adicionados à água, reduzindo as forças que tendem a manter separadas as partículas em suspensão, facilitando a sua aglomeração (floculação)[7].

Conforme o objetivo específico a atingir os reagentes empregues podem ser:

- ◆ Coagulantes – compostos responsáveis pela destabilização de colóides;
- ◆ Alcalinizantes – compostos capazes de conferir a alcalinidade necessária à coagulação; e
- ◆ Adjuvantes – compostos auxiliares que se destinam a melhorar as operações de coagulação e floculação[1].

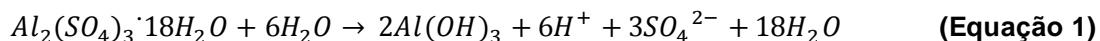
Os produtos químicos mais utilizados são designados por coagulantes, uma vez que ao reagirem com a água levam à formação de partículas de maior dimensão. O coagulante elimina a carga eletrostática negativa da superfície das partículas, neutralizando-as e anulando as forças repulsivas entre elas (Figura 3). As partículas agregam-se e sedimentam graviticamente.



**Figura 3 – Característica das partículas coloidais (adaptado de [10])**

Os coagulantes mais usados neste processo são sais de metais, nomeadamente, à base de ferro e de alumínio, uma vez que estes sais levam à libertação de iões que apresentam carga oposta às partículas coloidais permitindo a agregação a outras partículas, formando partículas de maiores dimensões (volume e peso). Além disto,

estes íons reagem com a água, formando hidróxidos insolúveis, ou seja, agentes coagulantes ainda mais eficazes (Equação 1).



Com o aumento do teor de  $H^+$ , o pH diminui e é impedida a formação de mais precipitado.[1] Se a água possuir alguma alcalinidade então estes íons vão reagir com os íons bicarbonato presentes, funcionando como tampão (Equação 2).



Dentro do grupo dos coagulantes, para além dos sais metálicos podem ser utilizados outros produtos, como polieletrólitos catiónicos, aniónicos e não-iónicos.

Dependendo dos coagulantes utilizados para quebrar a estabilidade das suspensões coloidais podem considerar-se vários processos físico-químicos:

- 1- Compressão da camada dupla: as forças de repulsão eletrostáticas diminuem devido à adição de eletrólitos que comprimem a camada dupla e favorecem o choque entre as partículas;
- 2- Adsorção e neutralização da carga: a adsorção de íons de sinal contrário, fortemente carregados, fazem diminuir o potencial no limite da camada fixa;
- 3- Inclusão num precipitado: inclusão dos coloides numa rede formada por uma rápida precipitação do coagulante aplicado em concentrações elevadas; e
- 4- Adsorção e formação de pontes entre partículas: existe a formação de complexos partícula-polímero-partícula[4].

Nos processos de tratamento de água, este processo, é fundamentalmente, a adsorção das espécies coagulantes e neutralização das cargas ou por inclusão em precipitado de hidróxidos ou carbonatos metálicos[4].

Para determinar a dose ótima de coagulante e o grau de agitação para assegurar a formação mais efetiva de flocos, recorre-se a ensaios experimentais, por exemplo, *jar test*. Este teste, é o mais usado para simular o processo de coagulação-floculação e sedimentação e consiste em utilizar uma série de copos contendo



Figura 4 – Jar test [9]

volumes iguais de água, aos quais são adicionados diversas quantidades de reagente, sendo depois submetidos a condições idênticas (velocidade de rotação, tempo de sedimentação). No final compara-se a turvação obtida e tiram-se conclusões, nomeadamente a dose ótima de coagulante e condições de operação[1].

Para seleccionar o coagulante tem de se ter em conta vários fatores como:

- ◆ A natureza e a qualidade da água bruta, nomeadamente a concentração da matéria coloidal, emulsões e microrganismos;
- ◆ As características químicas como alcalinidade, ferro e matéria orgânica pois condicionam a eleição dos coagulantes e a eficácia do tratamento coagulação-floculação;
- ◆ A variação da temperatura da água. A clarificação ocorre de forma mais eficiente a temperaturas mais altas e o consumo de coagulante aumenta com o decréscimo desta;
- ◆ O tratamento previsto após a coagulação, os critérios de qualidade e o destino a dar à água tratada; e
- ◆ O grau de purezas dos reagentes, especialmente no caso de águas para abastecimento público, é um fator a não menosprezar [1].

A **floculação** tem por objetivo a aglomeração das partículas por efeito de transporte de fluido, de modo a formar partículas de maior tamanho[7]. Destina-se a promover a colisão das partículas destabilizadas e a favorecer a sua agregação em flocos de massa específica superior à da água através de uma mistura lenta. A mistura deve ser suficientemente intensa para permitir o contacto entre a partícula e impedir a sedimentação dos flocos. Um processo comum de realizar a floculação consiste em fazer passar a mistura através de uma sequência de tanques providos de agitadores transversais (ou paralelos) ao sentido do escoamento ou forçando-a a seguir um trajeto sinuoso[1].

Assim, é de salientar que gradientes de velocidade elevados originam flocos pequenos e densos, e gradientes baixos originam flocos grandes e pouco densos. Deste modo, os melhores resultados obtêm-se aplicando, inicialmente, gradientes elevados para originar flocos densos, e seguidamente, deixando os flocos crescer pela diminuição do gradiente de velocidade[4].

A formação de flocos pode desencadear-se por dois mecanismos: floculação pericínética e floculação ortocínética. No primeiro mecanismo, as partículas colidem



devido à sua movimentação aleatória. Na ortocinética, as partículas colidem devido à turbulência gerada na água por forças mecânicas exteriores. Assim, as partículas pequenas ( $<1\mu\text{m}$ ) são submetidas a floculação pericinetica, enquanto que as de maior tamanho são afetadas principalmente pelo gradiente de velocidade do líquido, predominando a floculação ortocinética[1].

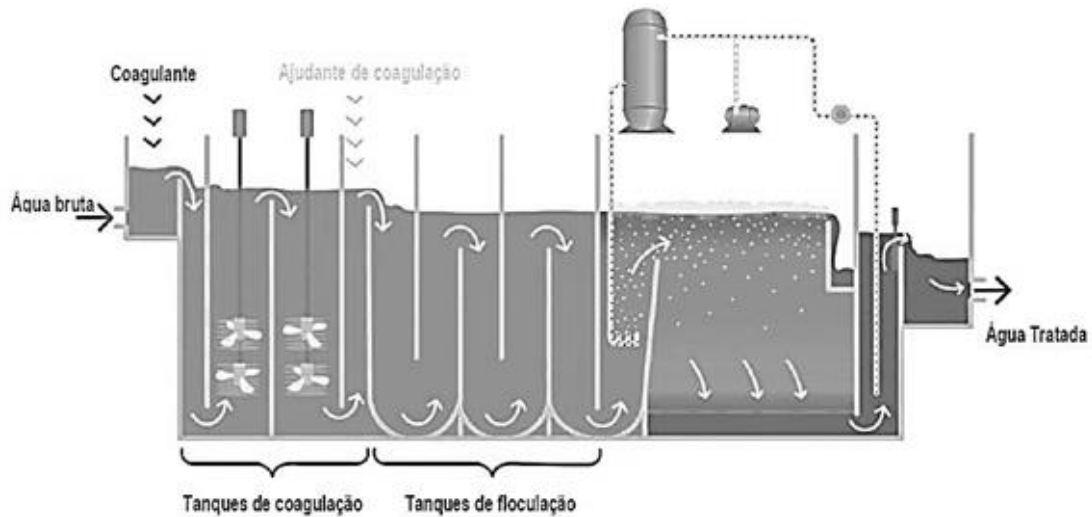


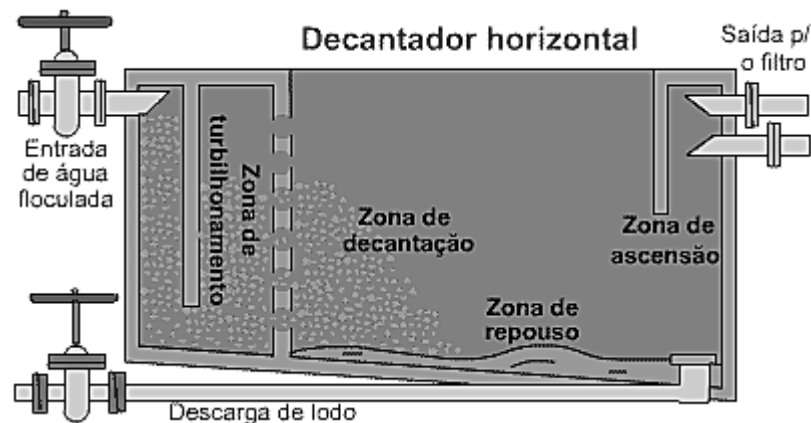
Figura 5 – Esquema ilustrativo dos processos coagulação e floculação (adaptado de [10])

### 2.2.3 Sedimentação/Decantação

A sedimentação, ou decantação, é um processo físico onde ocorre a remoção de partículas em suspensão cuja densidade é superior à da água. Através da ação da gravidade, podem ser removidas areias, matéria particulada e flocos químicos provenientes de processos de coagulação-floculação[4]. As partículas que não são removidas neste processo, devido ao pequeno tamanho ou por serem de densidade muito próxima à da água, deverão ser removidas noutras etapas do tratamento, habitualmente, na filtração.

O termo decantação é aplicado, normalmente, quando o objetivo é a obtenção de um líquido clarificado, enquanto sedimentação é usado quando se pretende concentrar lamas.

As operações de sedimentação processam-se em tanques de planta retangular ou circular e escoamento horizontal ou vertical. Em todos é possível identificar quatro zonas funcionais: entrada, saída, lamas e sedimentação (Figura 6).



**Figura 6 – Esquema ilustrativo de um tanque de sedimentação (adaptado de [12])**

Na zona de entrada, observa-se uma certa agitação, a localização das partículas é variável e é onde se dispersam uniformemente no tanque. A zona de saída é onde a água flui de modo ascendente para as caleiras de recolha. A zona de lamas, normalmente apresenta uma profundidade de 1 metro de modo a permitir a acumulação de lamas(lodo) e acomodar o equipamento para a sua remoção; para o efeito, o fundo é ligeiramente inclinado. Por fim, a zona de sedimentação, que ocupa o restante volume do tanque, como o próprio nome indica, é a zona onde ocorre a sedimentação das partículas, constitui uma parte central onde não há agitação, as partículas descem lentamente[4].

Considera-se que existem 4 tipos de sedimentação:

◆ **Tipo I – Sedimentação de partículas discretas**

Refere-se à sedimentação de partículas que conservem as suas propriedades físicas iniciais, como a forma, dimensão e densidade. Nesta a velocidade de sedimentação é independente da concentração. As partículas sedimentam como entidades individuais.

◆ **Tipo II – Sedimentação de partículas floculantes**

Refere-se à sedimentação de partículas que se aglomeram durante a operação. Neste caso, são alteradas as propriedades físicas das partículas. A massa da partícula vai aumentando e sedimenta a uma velocidade crescente.

◆ **Tipo III – Sedimentação “em manto”**

Refere-se à sedimentação de partículas que se aglomeram, formando massas de dimensão apreciável que sedimentam como uma única unidade, verificando-se uma separação nítida entre a água e lama.

◆ **Tipo IV – Sedimentação em compressão**

Refere-se à sedimentação de partículas com consolidação muito lenta no fundo

dos sedimentadores. A sedimentação ocorre somente por compressão da estrutura devido ao peso das partículas que se depositam vindas do sobrenadante.

No tratamento de água para consumo humano, os principais tipos de sedimentação utilizados são o Tipo I e o Tipo II, uma vez que habitualmente a sedimentação é efetuada após o processo de coagulação-floculação e antes da filtração.

#### **2.2.4 Filtração**

A filtração é um processo de separação sólido-líquido, envolvendo fenômenos físicos, químicos e, às vezes biológicos [7]. A filtração é uma operação física que tem como objetivo a remoção de partículas em suspensão por passagem da água que as contém através de um meio poroso. As impurezas acumulam-se no meio poroso obrigando a lavagens contínuas ou intermitentes. Regra geral, a filtração é usada como método de afinação da qualidade da água, ou seja, tem como finalidade eliminar matéria suspensa que não foi removida nas fases de sedimentação, coagulação e floculação[1].

A filtração pode ser classificada consoante o tipo de operação, o tipo de meio filtrante (monocamada, duas ou mais camadas), o sentido do fluxo da água durante a filtração (ascendente ou descendente), o processo de lavagem por retorno, o método de controlo de caudal (filtros de pressão ou de gravidade) e taxa de filtração (rápida ou lenta)[4]. Assim, distingue-se três tipos:

##### **◆ Filtração Lenta**

O material filtrante é colocado numa caixa aberta e a água escoar na vertical por ação da gravidade. Os grãos do material de enchimento são finos, a fim de garantirem uma velocidade de escoamento lenta. À superfície favorece-se o desenvolvimento de uma camada densa e porosa de microrganismos que aumentam a eficiência da filtração. A conceção e a operação deste são simples e de baixo custo[1].

##### **◆ Filtração Rápida**

O material filtrante, é colocado da mesma maneira que a filtração lenta, numa caixa aberta e a água escoar na vertical por ação da gravidade. Envolve mais equipamentos e menos mão-de-obra do que a filtração lenta. É o tipo de filtração usado a jusante de um sequência de tratamento de água por coagulação, floculação e

sedimentação. Pode ser usado no início de uma ETA quando a água é pouco turva. É o tipo de filtração mais comum no tratamento de águas de abastecimento[1].

#### ◆ Filtração sob pressão

O material de enchimento situa-se no interior de cilindros metálicos fechados, capazes de suportar pressões da ordem de 10 atm (Figura 7). A água é injetada sobre pressão, o que permite o uso de materiais de enchimento de baixa porosidade. A sua utilização restringe-se a estações de tratamento de reduzidas dimensões, piscinas e unidades industriais[1].



**Figura 7 – Esquema ilustrativo do funcionamento de um filtro sob pressão (adaptado de [13])**

A operação de filtração compreende a filtração em si e a limpeza. O filtro opera até que a qualidade da água comece a deteriorar-se ou até que a perda de carga se torne excessiva, ou seja, a porosidade do filtro diminui devido à acumulação de sólidos ficando colmatado. Nesta fase, o filtro é colocado fora de serviço e lavado por retorno para remover os sólidos acumulados. Nos filtros lentos, a areia é removida do filtro e lavada. Nos filtros rápidos e em sob pressão, o leito filtrante é lavado em contracorrente. Neste caso a água limpa é introduzida pelos sistemas de drenagem a uma velocidade que permita a expansão do leito, libertando os materiais colmatantes[4].

O material filtrante utilizado deve ser selecionado tendo em conta que o ideal é aquele que permite tratar o maior caudal de água e reter a máxima quantidade de sólidos com uma perda de carga mínima, possibilitando também uma limpeza fácil com um consumo de água mínimo. O material de enchimento mais usado é a areia. Outros também são utilizados mas de aplicação restrita como, a antracite, o carvão ativado e plásticos diversos.

### 2.2.5 Desinfecção

A desinfecção é um processo químico que tem por finalidade a destruição/eliminação de microrganismos patogênicos presentes na água (bactérias, protozoários, vírus e vermes). Deve-se notar a diferença entre esta e esterilização. Esterilizar significa a destruição de todos os organismos, patogênicos ou não, enquanto a desinfecção é a destruição de uma parte ou de todo um grupo de organismos, por exemplo, os vírus de hepatite e da poliomielite não são completamente destruídos ou inativados pelas técnicas usuais de desinfecção[7].

A desinfecção é o tratamento mais importante a que uma água deve ser sujeita. Todas as águas de abastecimento devem ser desinfetadas, mesmo nos casos em que exista uma garantia da qualidade microbiológica, só assim se garante a segurança da água ao longo de toda a rede de distribuição até à torneira do consumidor. Embora a maior parte dos microrganismos possa ser removida com um esquema convencional de tratamento de água (processos de tratamento referidos anteriormente neste capítulo) a sua erradicação só é garantida através de desinfecção[1].

Os agentes físicos mais utilizados são o calor (água em ebulição durante 15 min a 20 min), luz solar e radiação UV. Entre os agentes químicos o cloro e seus derivados são os mais utilizados. Outros agentes químicos também podem ser utilizados como, oxidantes (ozono,  $\text{KMnO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ ) e sais metálicos. Por razões económicas, os desinfetantes químicos são os mais utilizados e o cloro predomina.

Um desinfetante deve apresentar as seguintes características:

- ◆ Possuir toxicidade, a baixas concentrações, para os microrganismos;
- ◆ Não ser tóxico para os consumidores a essas concentrações;
- ◆ Ser suficientemente persistentes para prevenir o reaparecimento dos microrganismos nos sistemas de distribuição;
- ◆ Ser solúvel em água ou nos tecidos celulares;
- ◆ Ser eficaz às temperaturas normais da água de consumo (0 a 25 °C);
- ◆ Ser estável, permitindo a manutenção de concentrações residuais durante longos períodos de tempo;
- ◆ Não reagir com outra matéria orgânica que não seja microrganismos;
- ◆ Não ser agressivo a metais (corrosivo);
- ◆ Existir em grandes quantidades e a um preço acessível;
- ◆ Ser fácil de manipular; e

- ◆ Permitir um controlo fácil das suas concentrações[1].

A atuação do desinfetante é influenciada pelo tempo de contacto, pois a destruição dos microrganismos não é instantânea, pela concentração, intensidade, natureza e tipo de agente químico, pela temperatura e pelo tipo e número de microrganismos. Também é influenciada pelos sólidos suspensos e matéria orgânica, que retardam o efeito do desinfetante, e ainda pelo pH[4].

Como já referido, o agente de desinfetante mais utilizado no tratamento de água para consumo humano é o **cloro**, uma vez que apresenta as seguintes vantagens:

- ☒ Facilmente disponível como gás, líquido (hipoclorito de sódio) ou sólido (hipoclorito de cálcio);
- ☒ Baixo custo;
- ☒ Inativa com efetividade um largo espectro de organismos patogénicos normalmente encontrados na água;
- ☒ Permite a manutenção de uma concentração residual na água facilmente mensurável e controlável, não sendo perigoso ao homem e protege o sistema de distribuição;
- ☒ O registo de acidentes no seu manuseamento e aplicação, apesar do perigo associado, é negligenciável.

Mas, o cloro também apresenta desvantagens, tais como:

- ☒ Na forma gasosa é tóxico e corrosivo;
- ☒ Reage com muitas substâncias orgânicas e inorgânicas naturalmente presentes na água, originando produtos residuais da desinfeção indesejáveis (trihalometanos e ácidos haloacéticos);
- ☒ Elevadas doses podem provocar problemas associados ao cheiro e sabor;
- ☒ A prevenção de perigos, principalmente na forma gasosa, requer programas especiais de tratamento.

Embora o objetivo principal para a utilização do cloro seja a desinfeção, devido ao seu poder oxidante, pode também ser aplicado, por exemplo, para:

- ◆ Controlar o cheiro e sabor;
- ◆ Prevenir crescimento de algas;
- ◆ Remoção de ferro e manganês;
- ◆ Destruir sulfureto de hidrogénio; e

- ◆ Manter a qualidade da água no sistema de distribuição controlando o crescimento de limos [1].

Num processo de tratamento de água, o cloro pode ser utilizado para o processo de desinfecção propriamente dito, designado por **pós-cloração**, pois é aplicado à água depois de ter sido submetida a outros tratamentos unitários. Mas pode também ser utilizado como primeiro processo de tratamento a que uma água bruta é submetida, designando-se por **pré-cloração**. A pré-cloração é recomendada sempre que for necessário proceder à oxidação dos materiais contidos na água, e também apresenta como objetivos: controlar e limitar o crescimento de microrganismos, melhorar as condições de coagulação e reduzir a concentração de ferro e manganês. Esta cloração, por norma, exige dosagens mais elevadas, devido às impurezas grosseiras. É também aconselhável quando o tempo de contacto na pós-cloração for inferior a uma hora. Outro tipo de cloração é a **recloração**. A recloração é efetuada depois de uma ou mais clorações prévias na água. Sabendo que o cloro se decompõe com o tempo, a concentração que chega aos consumidores é menor do que a que é colocada na origem. Assim, a concentração exata na torneira depende principalmente da extensão da rede de distribuição e das quantidades de cloro adicionadas durante o tratamento. O controlo das concentrações de cloro residual deve ser efetuado à saída da ETA, nos reservatórios e em pontos estratégicos da rede, por técnicos especializados[1].

# Capítulo

# 3

## 3. MATERIAL E METODOLOGIA

O estudo efetuado foi realizado na empresa Águas do Centro Litoral, SA (AdCL), Direção de Operação de Abastecimento de Água (DOAA), na Estação de Tratamento de Água de Cancelas.

O trabalho experimental foi realizado no Laboratório da Águas do Centro Litoral, usando instalações, materiais e equipamentos, certificados por entidades competentes.

### 3.1 Apresentação da Empresa

A Águas do Centro Litoral, S.A., integrada no grupo de Águas de Portugal (AdP), é uma sociedade anónima de direito privado e capitais públicos, construída através Decreto-Lei nº92/2015, de 29 de maio. E resulta da fusão do sistema multimunicipal de saneamento da Ria de Aveiro (**SimRia**), do sistema multimunicipal de saneamento do Lis (**SimLis**), e do sistema multimunicipal de abastecimento de água e de saneamento do Baixo Mondego-Bairrada (**Águas do Mondego**). Abrange a captação, o tratamento e o abastecimento de água para consumo público e a recolha, o tratamento e a rejeição de efluentes domésticos e urbanos, e a receção de efluentes provenientes de limpeza de fossas sépticas[20].

O sistema integra os seguintes municípios:

- ◆ No abastecimento de água e saneamento de águas residuais, os municípios de Ansião, Arganil, Coimbra, Condeixa-a-Nova, Gois, Leiria, Lousã, Mealhada, Miranda do Corvo, Penacova, Penela, Vila Nova de Poiares, aos quais corresponde uma população no horizonte do projeto (2025) de cerca de 339 mil habitantes;
- ◆ No saneamento de águas residuais os municípios de Águeda, Albergaria-a-



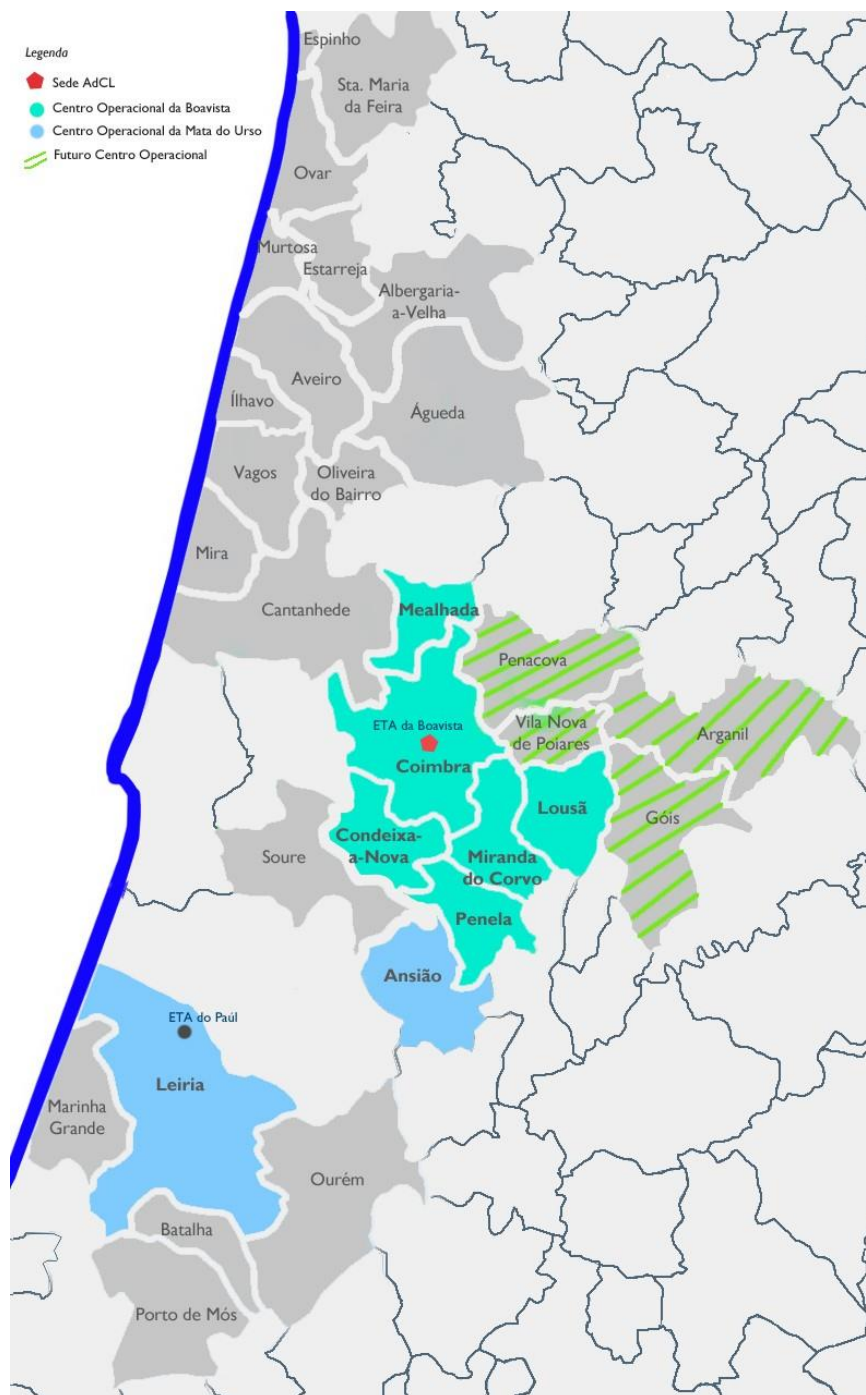
Velha, Aveiro, Batalha, Cantanhede, Estarreja, Espinho, Ílhavo, Marinha Grande, Mira, Murtosa, Oliveira do Bairro, Ovar, Ourém, Porto de Mós, Santa Maria da Feira, Soure, Vagos, representando 750 mil de habitantes-equivalentes.



Figura 8 - Quantificação do sistema multimunicipal de abastecimento e saneamento da AdCL [20]

### ABASTECIMENTO DE ÁGUA

A Águas do Centro Litoral, tem como objetivo em termos de abastecimento de água, satisfazer as necessidades da população da região ao nível **da quantidade e qualidade** da água, abastecendo os municípios de Ansião, Arganil, Coimbra, Condeixa-a-Nova, Gois, Leiria, Lousã, Mealhada, Miranda do Corvo, Penacova, Penela, Vila Nova de Poiares, aos quais correspondeu em 2016, uma população de cerca de 393 mil habitantes[20].



**Figura 9 - Representação do sistema multimunicipal de abastecimento de água da AdCL [20]**

### **SANEAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS**

A nível de saneamento de águas residuais, a Águas do Centro Litoral serve os municípios de Albergaria-a-Velha, Águeda, Ansião, Arganil, Aveiro, Batalha, Cantanhede, Coimbra, Condeixa-a-Nova, Espinho, Estarreja, Góis, Ílhavo, Leiria, Lousã, Marinha Grande, Mealhada, Mira, Miranda do Corvo, Murtosa, Oliveira do Bairro, Ourém, Ovar, Penacova, Penela, Porto de Mós, Santa Maria da Feira, Soure, Vagos e Vila Nova de Poiares, aos quais correspondeu em 2016, uma população de cerca de 835 mil habitantes-equivalentes[20].

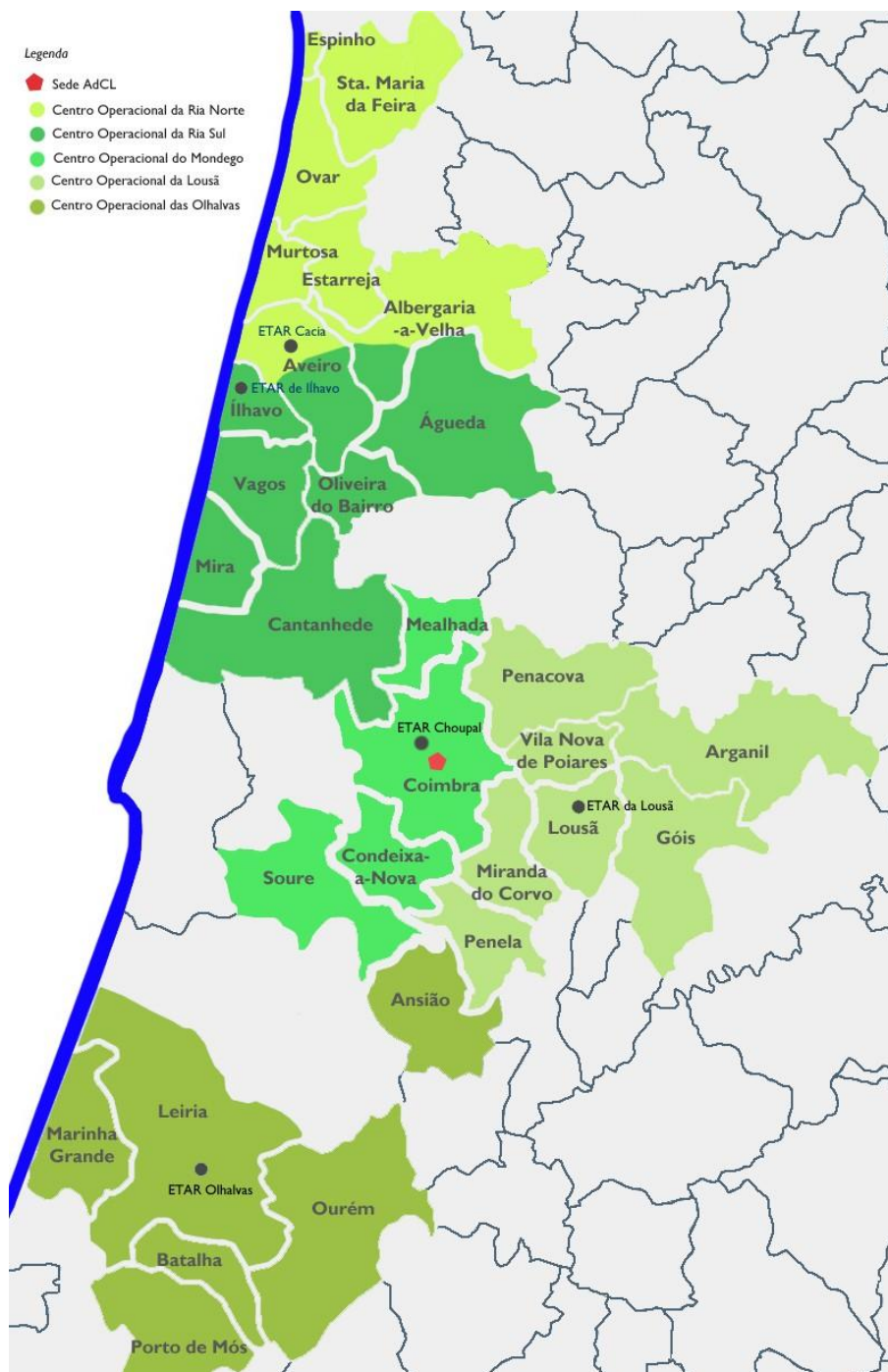


Figura 10 - Representação do sistema multimunicipal de saneamento da AdCL [20]

### 3.2 Estação de Tratamento de Água de Cancelas

A ETA de Cancelas, integrada no sistema de abastecimento de água da AdCL, está localizada no concelho de Penela e garante o abastecimento de água aos concelhos de Penela e parte de Miranda de Corvo num total de 16 799 habitantes (ano horizonte projeto – 2039)[21].

A água a tratar tem origem na Albufeira da Barragem da Louçainha II. A ETA tem capacidade máxima de 2 052 m<sup>3</sup>/dia com uma produção horária de 102,6 m<sup>3</sup>/h, para um período de funcionamento diário de 20 horas e está preparada para fornecer uma qualidade de água tratada, capaz de obedecer aos valores definidos na legislação em vigor [21].

O processo de tratamento adotado para a produção de água potável compreende as seguintes operações: arejamento, pré-oxidação, mistura rápida, mistura lenta, decantação, filtração e remineralização, e desinfecção final.

### **3.2.1 Albufeira da Barragem da Louçainha II**

A água que abastece a ETA de Cancelas tem origem na albufeira da barragem da Louçainha II (Figura 11), situada no leito do rio Simonte.

A capacidade total da albufeira é de 68 000 m<sup>3</sup>, com volume útil de 46 500 m<sup>3</sup> e volume morto de 10 000 m<sup>3</sup>[24].



**Figura 11 - Barragem da Louçainha II**

A bacia hidrográfica da barragem é reduzida (cerca de 2,42 km<sup>2</sup>), com declives muito acentuados, originando variações acentuadas de quantidade da água, principalmente entre a época estival e invernal[24]. Como exemplo, as seguintes figuras ilustram a albufeira em Nível de Pleno Armazenamento (NPA) e em nível mínimo de armazenamento.





Figura 12 - Albufeira da Louçainha II em NPA (16 de abril de 2014)



Figura 13 - Albufeira da Louçainha II em nível mínimo de armazenamento (08 de outubro de 2013)

### 3.2.2 Captações

A água que chega à ETA de Cancelas é proveniente da albufeira da barragem da Louçainha II, como já referido, e através de duas captações localizadas a cotas distintas, isto é, a 8,5m e a 5m abaixo do NPA, no paramento de montante da barragem. A água é encaminhada graviticamente por uma conduta até uma caixa de ligação, onde liga a uma conduta adutora à ETA de Cancelas, com o comprimento de cerca de 3.500 m[24].

### 3.2.3 Qualidade da água

A água na albufeira da Louçainha II apresenta variações de quantidade e qualidade, nomeadamente entre época estival e invernal.

Com base nos dados de qualidade da água da albufeira da Louçainha II e com o objetivo de dar cumprimento ao Decreto-Lei nº152/2017 de 7 de dezembro relativo à qualidade da água destinada ao consumo humano, a ETA de Cancelas foi dimensionada com a implementação do seguinte processo de tratamento, representado esquematicamente na figura seguinte:

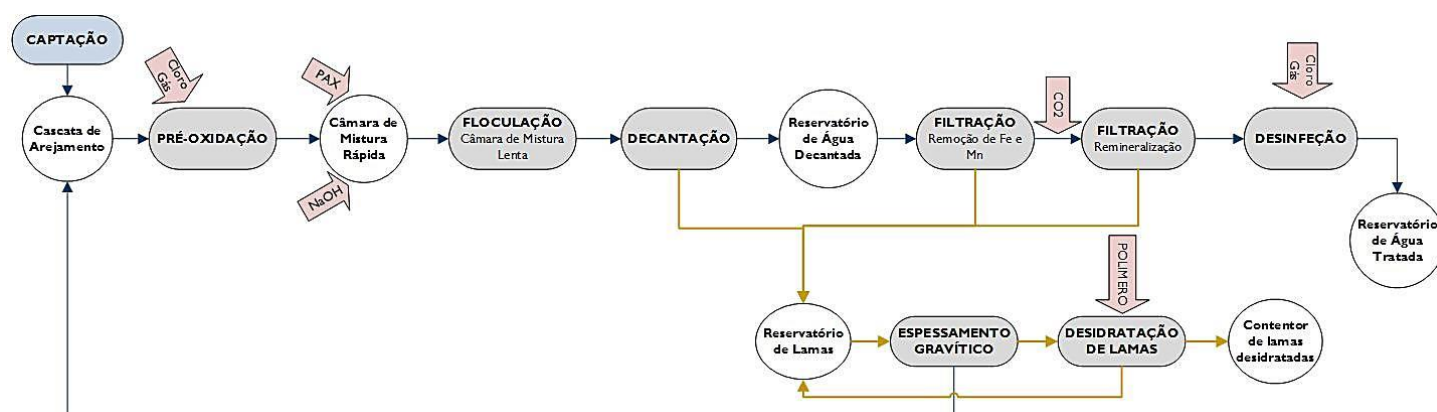
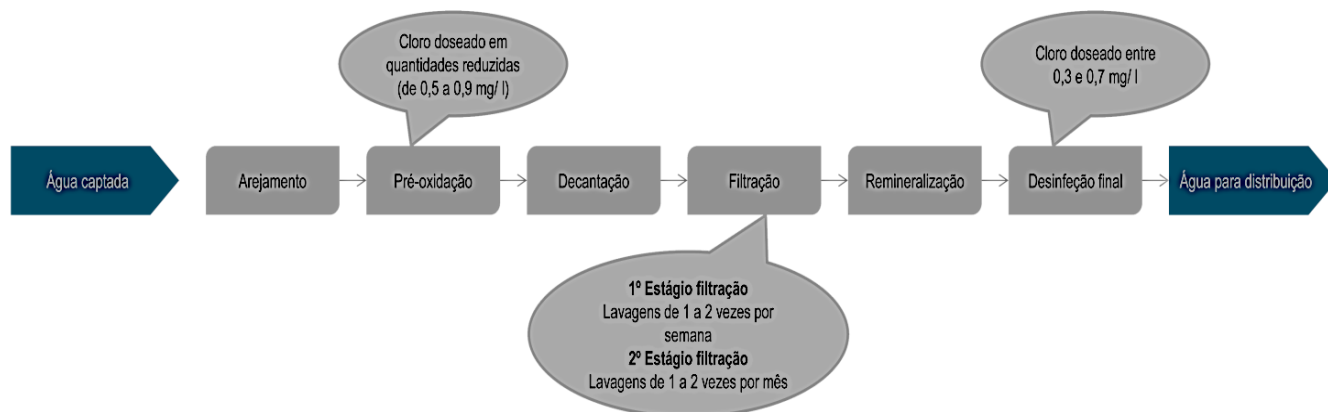


Figura 14 – Representação do esquema de tratamento da ETA de Cancelas [22]

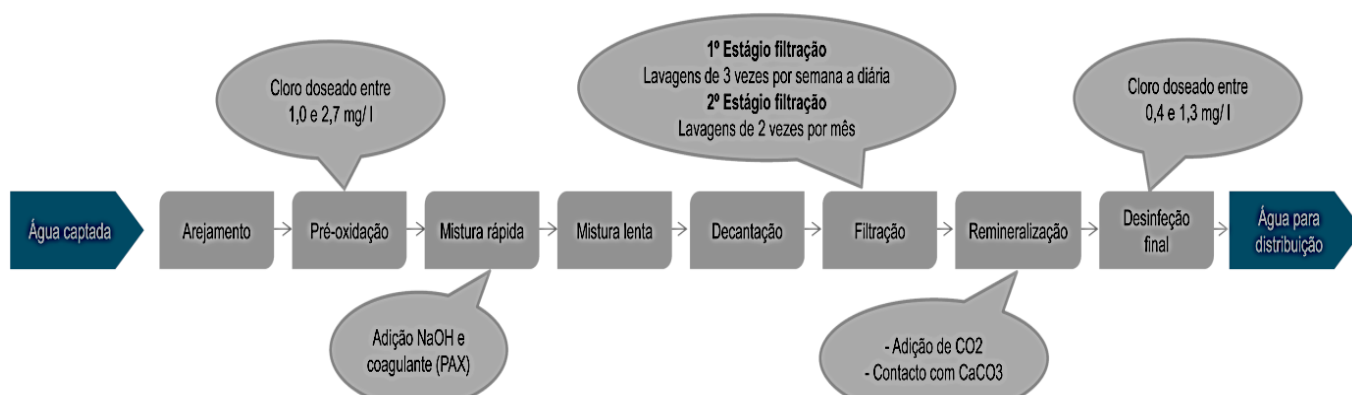
De acordo com as normas de qualidade da água superficial destinada à produção de água para consumo humano, fixadas no anexo I do Decreto-Lei n.º 236/98 de 1 de agosto, a água desta albufeira é classificada nas seguintes classes, às quais correspondem distintos esquemas de tratamento estabelecidos no anexo II do presente Decreto-Lei:

- ◆ **Classe A1** (tratamento físico e desinfecção) - entre os meses de novembro a junho;



**Figura 15 – Esquema de tratamento da ETA de Cancelas durante o período invernal [24]**

- ◆ **Classe A2** (tratamento físico, químico e desinfecção) – entre os meses de julho a outubro ou quando o ferro atinge valores na ordem dos 300 µg/L Fe[23].

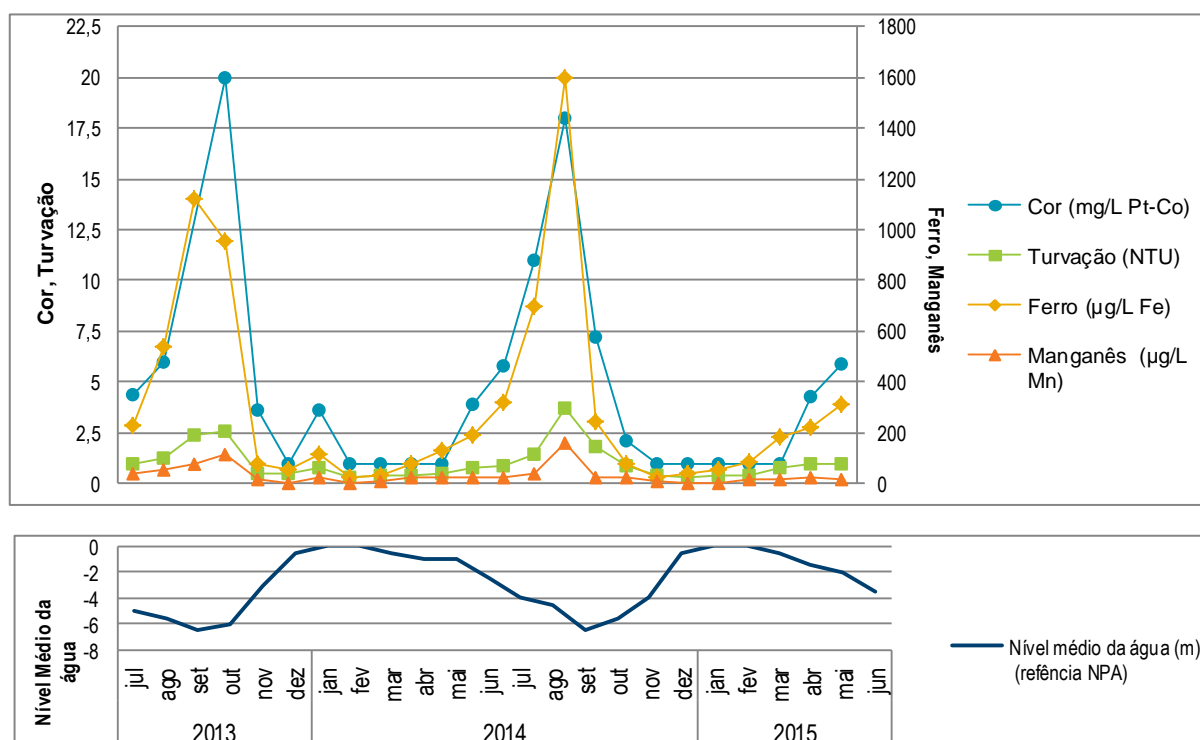


**Figura 16 - Esquema de tratamento da ETA de Cancelas durante o período estival [24]**

A qualidade da água durante este período vai sendo deteriorada gradualmente, pelo que é ajustado o seu tratamento. Aumenta-se a dosagem de cloro, é introduzido o coagulante e é ajustado o pH.

Assim, é efetuada monitorização diária da água superficial que permite identificar os parâmetros com maior variabilidade: ferro, cor, turvação, manganês, coliformes fecais e temperatura. De modo a atuar o mais rápido possível não colocando em risco a qualidade da água.

Em relação ao ferro, manganês e cor, ciclicamente, entre julho e outubro, os valores médios das concentrações aumentam cerca de 10 vezes e a turvação cerca de 3 vezes. Verificou-se que este aumento era inversamente proporcional ao nível de água da albufeira, como se observa na Figura 17. Os dados utilizados foram durante o período de julho de 2013 e junho de 2015[24].



**Figura 17 - Evolução do valor médio mensal dos parâmetros cor, ferro, turvação e manganês na captação da Louçainha e do nível médio da água na albufeira da barragem da Louçainha II [24]**

Em suma, a qualidade da água bruta depende diretamente do volume de água armazenado na barragem.

### 3.2.4 Etapas de Tratamento

#### 3.2.4.1 Cascata de Arejamento

Atendendo às características da água bruta afluyente à ETA (agressiva e por vezes com cargas de ferro e manganês significativas), existe uma etapa de arejamento da água bruta através de uma cascata (Figura 18), que tem por base a introdução de oxigénio na água e consequentemente a oxidação dos compostos de ferro e manganês.



Figura 18 - Cascata de arejamento

#### 3.2.4.2 Pré-oxidação

Existe uma etapa de pré-oxidação com cloro imediatamente a jusante da etapa de arejamento. A injeção de cloro é realizada em linha, mais propriamente na conduta de saída da cascata de arejamento e que encaminha a água à etapa seguinte - mistura rápida.

Para a referida injeção de cloro, recorre-se a dois (1+1) reguladores de dosagem automáticos, de funcionamento por vácuo, com capacidade unitária máxima de 400 g/h e equipados com um controlador de caudal de cloro.[21]

O fornecimento de cloro é garantido por duas (1+1) garrafas de capacidade unitária 65 kg, instaladas em sala própria (Figura 19).



Figura 19 - Armazenamento de cloro



Esta etapa de tratamento, conjuntamente com a etapa de arejamento instalada a montante, promove a oxidação do ferro e manganês contidos na água bruta a tratar, ao mesmo tempo que destabiliza a matéria orgânica coloidal, potenciando a sua remoção por coagulação – sedimentação.

A dosagem de cloro prevista para esta etapa, é de 2,0 mg/l, sendo que a quantidade de cloro a adicionar em cada momento, é controlada pela leitura dos caudais afluentes à ETA e a aferição da concentração de cloro residual realiza-se na câmara de mistura rápida, por meio de sonda[21].

#### 3.2.4.3 Coagulação-Floculação

O processo de **coagulação** inicia-se na câmara de mistura rápida (Figura 20). A finalidade desta câmara é criar condições para que, em poucos segundos, o coagulante seja uniformemente distribuído por toda a massa de água. A adição do coagulante é efetuado por bombas doseadoras (Figura 22).



Figura 20 - Câmara de mistura rápida

Na ETA de Cancelas, a câmara de mistura rápida, com um volume útil de 8,4 m<sup>3</sup>, garantindo um tempo de retenção hidráulico de 5 min, é dotada de um agitador mecânico vertical em regime de funcionamento contínuo, de modo a otimizar a mistura do coagulante com a água a tratar, conseguindo uma desestabilização eficiente das partículas e agregação inicial da matéria coloidal[24].

Como coagulante, utiliza-se o Polihidróxiclorossulfato de Alumínio ( $Al_n(OH)_m(SO_4)_xCl_{(3n-m-2x)}$ ), com designação comercial KEMIRA PAX XL10, da Quimitécnica.

Dadas as características da água bruta disponibilizadas, nomeadamente no que se refere ao valor de pH de 6,5 da água a tratar, existe a necessidade eventual de ajuste do pH, na etapa de coagulação, por forma a permitir que esta etapa se desenrole nas melhores condições de operação, sem que haja lugar à solubilização do alumínio. Para isso, existe o doseamento de NaOH (Figura 21), na câmara de mistura rápida[21].



**Figura 22 – Armazenamento do coagulante**



**Figura 21 – Armazenamento do NaOH**

Após a desestabilização e agregação inicial da matéria coloidal segue-se, nas câmaras de mistura lenta, através de chicanas (Figura 23), o processo de **floculação**, onde ocorre a aglomeração das partículas.



**Figura 23 - Câmaras de mistura lenta, através de chicanas**

A água a tratar, é encaminhada para três linhas que contemplam as etapas de mistura lenta, cada uma delas apresenta um volume útil de  $14,7\text{m}^3$ , garantindo um tempo de retenção de 22 minutos. Esta repartição de caudal é garantida por três descarregadores, na zona de descarga da câmara de mistura rápida.

Nas câmaras de floculação existentes, a agitação é efetuada através de chicanas de forma a otimizar as condições de operação destes órgãos. A turbulência criada, por meio de uma agitação adequada, origina um gradiente de velocidade capaz de aumentar a aglutinação de coloides, tornando-os mais densos, sem produzir a sua rutura[24].

#### **3.2.4.4 Sedimentação/Decantação**

O princípio da decantação assenta na utilização da força da gravidade para separar e concentrar as partículas sedimentáveis, presentes na água.

A sedimentação das lamas produzidas nos processos anteriores realiza-se então nos três decantadores (Figura 24) de planta retangular dispostos em paralelo e equipados com tubagem de fundo para remoção de lamas (Figura 25). Cada um dos decantadores foi dimensionado para uma carga hidráulica máxima de  $1,4 \text{ m}^3/(\text{m}^2.\text{h})$ . Assim, esta etapa apresenta uma área de decantação de  $75,6 \text{ m}^2$  e um tempo de retenção hidráulico de 1,7 horas [21].



**Figura 24 - Decantadores**



**Figura 25 - Válvulas de guilhotina pneumáticas, para purga de lamas**

A água decantada é recolhida à superfície e reunida numa única caleira que a encaminha ao troço de tubagem de ligação ao reservatório de regularização de água decantada (Figura 26). O reservatório de regularização de água decantada apresenta um volume útil de cerca de 89 m<sup>3</sup>.

Esta bombagem é necessário para preparar o processo seguinte, a filtração. De modo a que os filtros tenham um funcionamento eficiente, otimizando tanto quanto possível o número de lavagens a realizar.

A elevação de água à filtração é assegurada pelos 4 grupos eletrobomba de eixo horizontal monocelular (Figura 27) instalados no piso inferior do edifício dos filtros. Estes grupos eletrobomba têm uma capacidade unitária ajustada ao caudal de água a tratar[21].



**Figura 27 - Reservatório de regularização de água decantada**



**Figura 26 - Bombas de elevação de água decantada para a filtração**

### **3.2.4.5 Filtração e Remineralização**

Na ETA de Cancelas, a água decantada é enviada para duas linhas de filtros em pressão instaladas em paralelo.

Cada uma das linhas de filtração é constituída por um filtro provido de enchimento apropriado à remoção de ferro e manganês (1º estágio) seguido de um outro provido de enchimento apropriado à remineralização da água (2º estágio)[21].



**Figura 28 - Filtros**

## 💧 1º Estágio

O objetivo desta etapa é remover principalmente sólidos suspensos, flocos resultantes do processo de coagulação-floculação e precipitados de ferro e manganês.

Na ETA existem dois filtros catalíticos automáticos com carga filtrante constituída por sílica (óxido de silício), pirolusite (material cuja constituição é predominantemente dióxido de manganês) e antracite (carvão betuminoso com mais de 90% de carbono na sua composição), com  $4,9 \text{ m}^2$  de área unitária. O processo de filtração faz-se pela passagem da água da parte superior do filtro, sendo posteriormente recolhida na base de cada filtro. Para a lavagem do meio filtrante, desencadeia-se uma inversão do fluxo com água decantada. O ciclo de lavagem pode ser desencadeado por perda de caudal, ou pelo número de horas entre lavagens ou por pedido do operador[21].

## 💧 2º Estágio

A remineralização tem como objetivo a afinação da água e consiste na correção da agressividade e pH da água através da passagem da água por carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) com a prévia adição de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) de forma a ser conseguido o equilíbrio cálcio-carbónico da água[24].

Para a remineralização da água, existem dois filtros automáticos, com carga remineralizante constituída por grânulos de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) com granulometria da ordem de 2 mm, que se dissolvem proporcionalmente à acidez da água. Os filtros apresentam uma área unitária igual a  $4,9 \text{ m}^2$ . O processo de filtração ocorre pela passagem da água da parte superior do filtro, sendo posteriormente recolhida na base de cada filtro. Os filtros de remineralização apenas são submetidos ao ciclo de lavagem aquando da reposição do respetivo enchimento.

O  $\text{CO}_2$  é fornecido a granel e armazenado sob a forma líquida em reservatório a alta pressão. À saída do reservatório passa por uma estação de gaseificação (vaporizadores atmosféricos) e, sob a forma gasosa, é introduzido diretamente no seio do líquido através de um difusor, instalado na tubagem de saída dos filtros do 1º estágio[21].

#### 3.2.4.6 Desinfecção Final

A desinfecção final da água é efetuada por adição de água clorada, no reservatório de água tratada. A adição de cloro para desinfecção final, destina-se a assegurar um teor residual de cloro livre na água tratada a enviar à rede de distribuição, por forma a garantir a qualidade bacteriológica de água para consumo humano. Para assegurar o cloro residual livre na água tratada, é efetuada uma dosagem máxima de 1,0 mg/L. A injeção do cloro é efetuada por 2 reguladores de dosagem automáticos, como referido na pré-oxidação, tal como o fornecimento de cloro é garantido por 2 garrafas de 65 kg (Figura 19)[21].

A quantidade de cloro a adicionar em cada momento, é controlada pela leitura dos caudais afluentes à filtração com a respetiva dosagem parametrizável na Telegestão.

O reservatório de água tratada foi dimensionado para assegurar o tempo de contacto suficiente a uma desinfecção total da água a enviar à rede de distribuição. Ao longo da rede de distribuição, a concentração do cloro vai diminuindo, sendo necessário um controlo e, em alguns casos recloração.

### 3.3 Metodologia

De seguida, será apresentado o funcionamento do *jar test*, bem como os métodos de determinação de parâmetros essenciais, como a turvação, ferro, manganês, alumínio e pH, para selecionar o melhor coagulante para o processo em estudo.

Todo o material de vidro foi inicialmente lavado numa máquina de lavar comercial (Miele Professional 47883) presente no laboratório com água de abastecimento público, um agente neutralizador comercial (Franklab, Neutrax PF) e um detergente em pó (Franklab, TDF Poudre 64). A lavagem do material é terminada com água desionizada, ainda na máquina, através de um sistema de resinas de troca iónica. O material é seco a  $50 \pm 10$  °C em estufa (Memmert ULE 600), com exceção do material para a determinação de metais. O material de vidro destinado à determinação de metais é colocado numa solução de ácido nítrico diluída (a partir de uma solução comercial HNO<sub>3</sub> de 65%) descontaminante durante 12 horas. Após lavagem com água destilada, é seco à temperatura ambiente.

### 3.3.1 Jar Test

O *jar test* simula, em escala laboratorial, o processo de coagulação-floculação e sedimentação. Tem como objetivo determinar a dosagem indicada de produto químico e ainda o grau de agitação, assegurando a melhor formação de flocos.

Existe uma norma que descreve a prática/utilização do *jar test*, *Standard Practice for Coagulation-Flocculation Jar Test of Water*. Esta norma descreve o procedimento geral para a avaliação de um tratamento para reduzir a matéria dissolvida, suspensa, coloidal e não sedimentável da água por coagulação-floculação, seguida por sedimentação por gravidade. O procedimento pode ser usado para avaliar a redução de cor e turvação[14].

Este teste permite avaliar vários auxiliares de coagulação e coagulantes usados no tratamento de água para abastecimento como para o tratamento de águas residuais, com as mesmas condições experimentais. Testar várias concentrações de coagulantes de modo a selecionar a dose ótima.

Para este estudo é necessário saber os interferentes neste processo, uma vez que podem dificultar a determinação as condições ótimas do *jar test*. Assim, são descritas as seguintes interferências:

- ◆ Mudança de Temperatura (durante o teste) - correntes térmicas ou de convecção podem ocorrer, interferindo com a sedimentação de partículas coaguladas. Podendo ser evitado com o controlo de temperatura;
- ◆ Liberação de gás (durante o teste) - flotação do floco coagulado pode ocorrer devido à formação de bolhas de gás causadas pelo agitador mecânico, aumento de temperatura ou reação química; e
- ◆ *Testing-Period* – A atividade biológica ou outros fatores podem alterar as características de coagulação da água. Por esta razão, o período entre a amostragem e a análise deve ser mínima[14].

O equipamento é composto por um agitador com variação de velocidade contínua de cerca de 20 a 150 rpm, as pás de agitação devem ser de material resistente à corrosão, leves e devem apresentar a mesma configuração e tamanho. Poderá ter uma base iluminada, sendo bastante útil para observar a formação de flocos, tendo atenção que o calor transmitido pelo sistema de iluminação pode causar interferência. São necessários copos de precipitação de igual tamanho e formato com um mínimo de 1000 ml[14].



O equipamento disponível na empresa é da marca VELP, designado por FP4 – Portable Flocculator com a referência F105A0117.

O procedimento do teste será descrito nos tópicos seguintes:

1. Medir volumes iguais de amostra para cada um dos copos. Existe a possibilidade de efetuar vários testes ao mesmo tempo, pois há várias posições no agitador. E colocar no agitador com as pás posicionadas.
2. Iniciar o agitador operando na velocidade de mistura de aproximadamente 100 rpm. Adicionar o reagente a testar, em dosagem e sequência pré-determinada. Mistura instantânea por aproximadamente 1 minuto após as adições de produtos químicos. Marcar o tempo de mistura e a velocidade (rpm).
3. Reduzir a velocidade para o mínimo (20rpm), de modo a manter as partículas de flocos uniformemente suspensas durante o período de mistura lenta. Mistura lenta por 20 minutos. Se forem utilizados auxiliares de coagulação, a velocidade de mistura é crítica, pois a agitação excessiva tende a romper a formação inicial de flocos e pode redispersá-los.
4. Após o período de mistura lenta, retirar as pás e observar a fixação das partículas de flocos. Registrar o tempo necessário para que as partículas estabilizem. Na maioria dos casos, este tempo será o necessário para as partículas se depositarem no fundo do copo; no entanto, em alguns casos, pode haver correntes de convecção interferentes. Se assim for, o tempo de estabilização registrado deve ser aquele em que as partículas instáveis ou residuais se movam igualmente para cima e para baixo.
5. Após 15 minutos de sedimentação por gravidade, registrar a aparência do floco no fundo do copo. Registrar a temperatura da amostra. Por meio de uma pipeta, retirar um volume adequado da amostra do líquido sobrenadante (a meio do copo), para realizar análises de turvação, pH e outros parâmetros necessários para o processo em estudo[14].

### **3.3.2 Determinação de parâmetros**

Para selecionar o melhor coagulante é necessário analisar a água resultante em cada teste, pois não basta observar a formação de flocos, tem de se cumprir valores de alguns parâmetros, uma vez que se adiciona reagentes altera-se a composição da água. Assim, é necessária a análise de pH, turvação, ferro, manganês e alumínio para a seleção do melhor coagulante.



### 3.3.2.1 pH

O potencial de hidrogénio (pH), definido por o químico dinamarquês Sorenson como o logaritmo negativo da concentração molar (da atividade molar) dos iões hidrogénio,

$$pH = -\log[H]^+ \quad \text{(Equação 3)}$$

Desde então, o termo pH tem sido universalmente empregue, evitando a utilização de números complexos com muitos dígitos[1].

O princípio da medição do pH baseia-se na determinação da atividade do ião hidrogénio através de uma medição potenciométrica utilizando um eléctrodo de vidro e um eléctrodo de referência, ou ainda um eléctrodo combinado. A força eletromotriz produzida no eléctrodo varia linearmente com o pH. Esta relação linear é descrita graficamente representando a medida da força eletromotriz em função do pH de diferentes tampões, sendo o pH da amostra determinado por extrapolação. Como não é possível determinar a atividade dos iões hidrogénio isoladamente, o pH é definido operacionalmente numa escala potenciométrica (0 a 14)[15].

O pH das águas brutas varia geralmente entre 5,5 e 8,5, mas a água para abastecimento de consumo humano tem de cumprir o valor paramétrico, superior ou igual a 6,5 e inferior ou igual a 9,5 unidades de pH.

Valores de pH fora das gamas recomendadas podem alterar o sabor da água e contribuir para a corrosão do sistema de distribuição, ocorrendo com isso, uma possível extração do ferro, cobre, zinco e cádmio. [1].

No laboratório da AdCL, diariamente, o equipamento é calibrado potenciometricamente usando soluções tampão rastreadas a NIST.

Inicialmente, o eléctrodo de pH (eléctrodo combinado com sensor de temperatura – pH805, *Hach*) é calibrado utilizando as soluções tampão de pH 4, pH 7 e pH 9 previamente termostatizadas a uma temperatura de cerca de 20°C. De seguida, termostatizar as amostras à mesma temperatura referida anteriormente e proceder à leitura das mesmas de acordo com a Instrução Técnica do equipamento (TitraLab AT1000, *Hach*), criada pelo laboratório[15].



**Figura 29 - Potenciômetro TitraLab AT 1000, Hach**

### **3.3.2.2 Turvação**

A turvação é causada por matérias sólidas em suspensão. É encontrada na maioria das águas superficiais, mas normalmente não existe nas águas subterrâneas, exceto em poços e nascentes após chuvas intensas. A determinação da turvação é realizada em unidades nefelométricas de turvação (UNT ou NTU) comparando a refração de um feixe de luz de igual intensidade ao passar por uma suspensão padrão. Valores superiores a 4 UNT são detetáveis num copo de água e geralmente objetáveis para o consumidor, sendo este o valor paramétrico. A turvação pode causar a coloração de recipientes (lavatórios) e equipamentos. Pode ser um indicador da presença de microrganismos patogênicos, incluindo bactérias, vírus e parasitas[1].

A turvação deve ser determinada o mais rápido possível (num prazo máximo de 24 horas) e as amostras devem ser gentilmente agitadas de forma a garantir medições representativas.

Para a medição da turvação, o Turbidímetro (2100 N, *Hach*) deverá ser ligado, pelo menos, duas horas antes da sua utilização. De seguida, encher uma célula limpa com amostra, limpar a célula e aplicar uma fina camada de óleo de silicone e colocar no compartimento de leitura, na posição correta, fechar e proceder à leitura das amostras. No caso de se ter que diluir amostras, deve ler-se um ensaio em branco (apenas com água destilada) e descontar esse valor às amostras[16].



**Figura 30 - Turbidímetro 2100 N, Hach**

### 3.3.2.3 Ferro

O Ferro é um elemento persistentemente presente em quase todas as águas em teores abaixo de 0,3 mg/L. Os minerais escuros portadores do elemento, como a magnetite, biotite, pirite e anfibólios, constituem as principais fontes naturais de ferro. Em virtude das afinidades geoquímicas, quase sempre é acompanhado pelo manganês. O ferro pode apresentar-se sob três formas: ferro ferroso, ferro férrico e ferro heme (ferro orgânico – complexo orgânico do ferro com vegetação composta). Cada um pode estar presente isoladamente ou em combinação com os outros. O ferro no estado ferroso ( $\text{Fe}^{2+}$ ) forma compostos solúveis, principalmente hidróxidos. Em ambientes oxidantes, o  $\text{Fe}^{2+}$  passa a  $\text{Fe}^{3+}$  dando origem ao hidróxido férrico, que é insolúvel e precipita, tingindo a água[1].

Apesar do organismo humano, dependendo da idade e sexo, necessitar de 0,5 a 20 mg de ferro por dia, a legislação em vigor exige que uma água de abastecimento público não ultrapasse os 200µg/l. Além de afetar as características organoléticas da água, a ingestão de elevados teores de ferro provoca hemocromatose que se traduz na alteração dos mecanismos reguladores, com danificação dos tecidos.

Para a determinação do ferro, no laboratório, recorreu-se a um método acreditado, Method 8008 (USEPA FerroVer®, *Hach*), é um Kit comercial aplicado a águas de consumo e águas naturais doces, com uma concertação de ferro entre 0,05 e 3,00 mg/l. Este kit converte todas as formas solúveis e a maior parte das insolúveis em ferro ferroso solúvel. O ferro ferroso reage com a 1,10-Fenantrolina presente no “FerroVer®” formando um complexo laranja cuja a intensidade é proporcional à concentração de ferro na amostra. Os resultados são obtidos diretamente no comprimento de onda de 510 nanómetros lidos no fotômetro para o efeito (DR 2800, *Hach*)[17].



Figura 31 - Fotômetro DR2800, Hach

A turvação das amostras foi medida anteriormente de acordo com o subcapítulo 3.3.2.2. Quando os valores da turvação são superiores a 1 UNT a amostra tem ser sujeita a digestão, utilizando o kit comercial “LCW 902 – Crack Set” da Hach. Este método baseia-se na adição de ácido sulfúrico (Reagente A) e, posteriormente, peroxodissulfato de potássio (Reagente B) ao volume predefinido de amostra e a digestão é realizado num digestor (HT 200S, *Hach*). Após a digestão, a amostra é

estabilizada com uma solução tampão (Reagente C), onde o pH da amostra fica entre 2,5 e 5,0.

Ainda, a determinação do ferro dissolvido é realizada de igual maneira, apenas é adicionado um passo inicial de filtração com filtro de 0,45µm.

Em suma, a determinação do ferro pode ser representada pela figura abaixo.

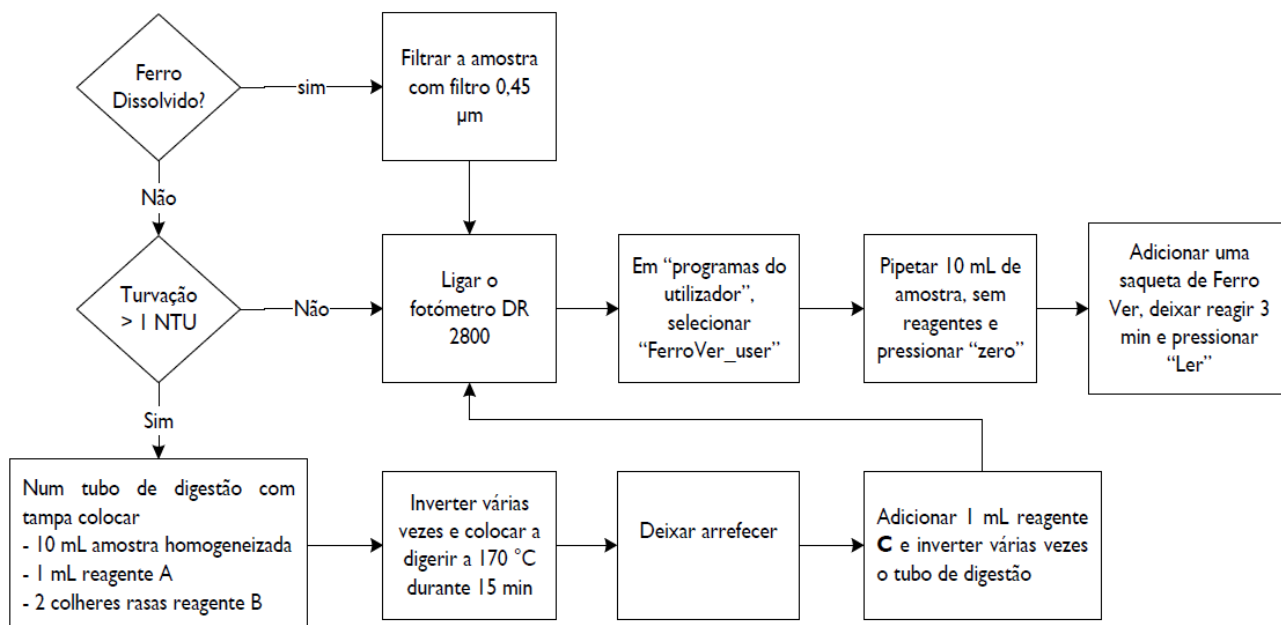


Figura 32 - Esquematização do procedimento para a determinação do Ferro através do Kit FerroVer®, Hach [17]

#### 3.3.2.4 Manganês

O manganês é um elemento que acompanha o ferro em virtude do seu comportamento geoquímico. É essencial aos seres humanos e animais e está presente em variados alimentos, mas a legislação portuguesa definiu como 50 µg/l o valor máximo. Encontra-se muitas vezes nas águas superficiais e subterrâneas, particularmente em condições anaeróbias ou de baixa oxidação. Ocorre na maioria das vezes como óxido de manganês bivalente que se oxida na presença do ar, dando origem a precipitados negros[1].

A presença de manganês em quantidades excessivas nas águas de abastecimento é indesejável devido ao seu efeito no sabor e formação de depósitos nos sistemas de distribuição. Causa danos ao nível neurológico após exposição via respiratória ou após ingestão de água com elevados níveis de concentração.

Para a determinação do manganês, no laboratório, recorreu-se a um método acreditado, Method 8149 (Method PAN 1-(2-Piridilazo)-2-Naftol ®, *Hach*), é um Kit comercial aplicável a águas para consumo humano e águas naturais doces, com uma concentração de Manganês entre 0,010 e 0,700 mg/l. Este kit reduz todas as formas oxidadas de manganês a  $Mn^{2+}$ , quando é adicionado ácido ascórbico. De seguida, é adicionado um reagente alcalino-cianeto com o objetivo de eliminar potenciais interferentes. Por fim, o indicador PAN combina-se com  $Mn^{2+}$  para formar um complexo laranja cuja a intensidade é proporcional à concentração de manganês na amostra. A concentração é determinada através da leitura num fotómetro para o efeito (DR 2800, *Hach*) no comprimento de onda de 510 nanómetros[18].

Como no ferro, a determinação da turvação é efetuada primeiramente. Para valores superiores a 1 UNT é necessário realizar a digestão da amostra com ácido nítrico, de modo a evaporar, numa placa de aquecimento, cerca de 80% da amostra e seguidamente ajustar o pH entre 4 e 5 com hidróxido de sódio 5M.

Para amostras que contenham dureza superior a 200 mg/l de  $CaCO_3$ , é necessário adicionar 10 gotas de sal de *Rouchelle* à amostra, imediatamente a seguir ao ácido ascórbico na sequência do procedimento de ensaio[18].

Em suma, a determinação do manganês pode ser representada pela figura abaixo.

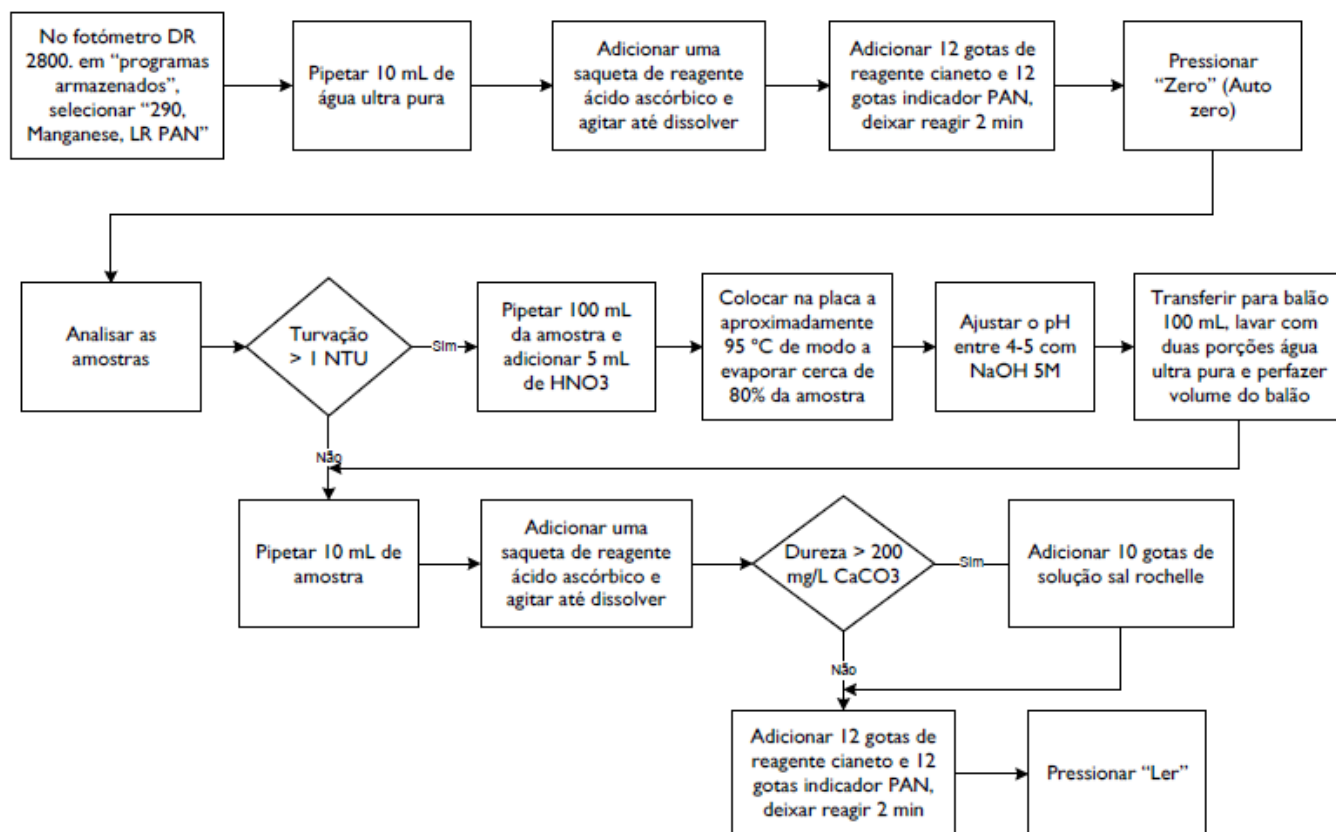


Figura 33 - Esquematização do procedimento para a determinação do manganês através Method PAN 1-(2-Piridilazo)-2-Naftol ®, *Hach* [18]

### 3.3.2.5 Alumínio

O alumínio é um elemento químico praticamente ubíquo nas águas naturais, surgindo como sal solúvel, coloide ou composto insolúvel. Pode também ser detetado em águas já tratadas como resíduo de coagulação com sulfato de alumínio. A concentração depende do pH, temperatura e presença de matéria orgânica. A solubilidade é baixa para valores de pH entre 5,5 e 6,0. Na forma solúvel, é um elemento extremamente tóxico para a vegetação[1].

A principal via de exposição humana é pela ingestão de alimentos e água. A bioacumulação de alumínio no Homem tem sido também associada ao aumento de casos de demência senil do tipo Alzheimer, verificando-se uma correlação entre o aumento do risco relativo da ocorrência desta doença com os níveis na água de abastecimento.

Para a determinação do alumínio, no laboratório, recorreu-se a um Kit comercial com cuvetes, “LCK 301” da *Hach*, aplicável a águas para consumo humano e a águas naturais doces, com uma concentração de Alumínio entre 0,05 e 0,50 mg/l. Este kit utiliza o cromazurol S como reagente que ao reagir com o alumínio, em soluções tamponadas de acetato ligeiramente ácidas, forma uma laca verde que é analisada por via fotométrica (Fotómetro DR 2800, *Hach*) a um comprimento de onda de 620 nanómetros[19].

O pH das amostras deve estar entre 2,5 e 3,5, uma vez que valores de pH mais elevados provocam a precipitação ou formação de complexos de alumínio, originando resultados baixos. Caso seja necessário, ajustar o pH da amostra com ácido nítrico.

O procedimento do ensaio, é seguir exatamente as instruções do fabricante, definido na caixa de testes de cuvete (Figura 34).



**Figura 34 - Procedimento para a determinação do Alumínio por kit comercial LCK 301, Hach**

### 3.4 Parte Experimental

A água-teste utilizada, não foi a água aduzida à ETA de Cancelas, conforme definido inicialmente com a AdCL, por motivos internos da empresa, no entanto foi escolhida uma outra água bruta, com características e comportamento semelhantes à água da Barragem da Louçainha II. A água que se utilizou para efetuar os ensaios foi clorada, pois existe pré-oxidação antes do processo de coagulação-floculação.

Para este estudo, como foi referido inicialmente, utilizaram-se os seguintes coagulantes (fichas de dados de segurança encontram-se no Anexo A):

- ◆ Sulfato de alumínio (nome comercial: **KEMIRA ALS-LC**), *QuimiTécnica*;
- ◆ Polihidroxíclorosulfato de alumínio (nome comercial: **WAC AB**), *Quimitejo*;
- ◆ Solução Aquosa de Sulfato Hidróxido Cloreto de Alumínio (nome comercial: **WAC**), *Quimitejo*, com as mesmas características do coagulante utilizado na ETA (nome comercial: KEMIRA PAX XL 10, *QuimiTécnica*).

O *jar test*, foi efetuado para os diferentes coagulantes e com diferentes diluições, em várias doses e diferentes pH de água-teste. Os procedimentos utilizados encontram-se descrito no Sub-Capítulo 3.3. Os ensaios foram efetuados para valores de pH tal e qual (água bruta clorada), valores de aproximadamente 7,5 e de 8,0 (água bruta clorada com ajuste de pH).

Após cada teste, os resultados obtidos são descritos em tabelas (Tabela 3), para uma melhor análise. Posteriormente, através da construção de gráficos e das características de cada coagulante será selecionado o coagulante mais adequado para o processo.


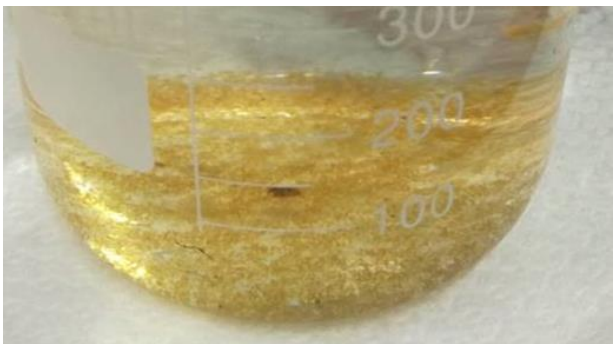
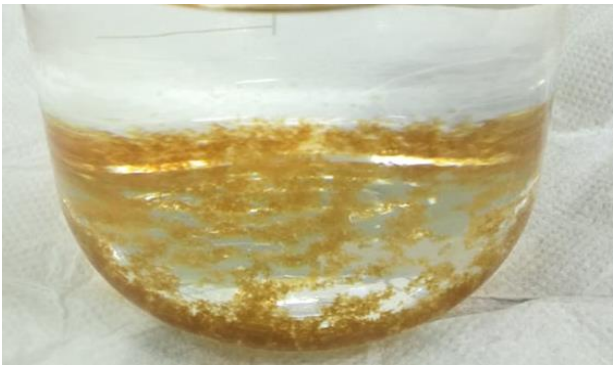
**Tabela 3 – Demonstração de resultados obtidos em cada teste**

Nome do coagulante				
Volume de coagulante adicionado (ml)				
Alumínio (mg/L)				
Ferro (mg/L)				
Manganês (mg/L)				
Turvação (UNT)				
pH final				
Tamanho dos Flocos (inspeção visual)				
Velocidade de sedimentação (inspeção visual)				
%Remoção turvação				
%Remoção do ferro				
%Remoção do manganês				



No preenchimento da tabela anterior, quando não se efetuou a análise a um parâmetro aparece preenchido a cinzento. O tamanho dos flocos e a velocidade de sedimentação foram determinados por comparação com os outros ensaios realizados, Tabela 4 e 5.

**Tabela 4 – Identificação do tamanho dos flocos através de inspeção visual**

Tamanho dos Flocos	
Muito pequenos	
Pequenos	
Médios	



---

Grandes



---

**Tabela 5 - Identificação da velocidade de sedimentação através de inspeção visual**

Velocidade de sedimentação	
Muito Lenta	Superior a 30 minutos
Lenta	Superior a 20 minutos
Moderada	20 minutos
Rápida	Inferior a 20 minutos

A percentagem de remoção foi calculada seguindo a seguinte equação:

$$\% \text{Remoção} = \frac{\text{Valor inicial} - \text{Valor final}}{\text{Valor inicial}} \times 100 \quad (\text{Equação 4})$$

# 4

## Capítulo

### 4.RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o objetivo de obter o pH ótimo e a taxa de tratamento que proporcione uma boa eficiência do processo coagulação-floculação, isto é, maximizar a remoção de turvação e ao mesmo tempo, minimizar o teor de alumínio na água tratada, efetuaram-se vários ensaios no equipamento FP4 – Portable Flocculator.

Os resultados obtidos nos vários ensaios e respectivas condições de água bruta estão disponíveis em Anexo. Efetuou-se uma representação gráfica dos parâmetros analisados para cada coagulante, de modo a fazer uma melhor análise e seleção.

#### 4.1 Sulfato de Alumínio

O primeiro coagulante a ser testado foi o sulfato de alumínio, primeiramente com uma **diluição efetuada de 100 vezes** (1 ml de coagulante num balão de 100 ml, prefazendo com água destilada) e para o pH original da amostra colhida clorada. Os volumes utilizados para 1 litro de amostra foram 0,5, 1,0, 1,5 e 2,0 ml, obtendo a seguinte representação gráfica.

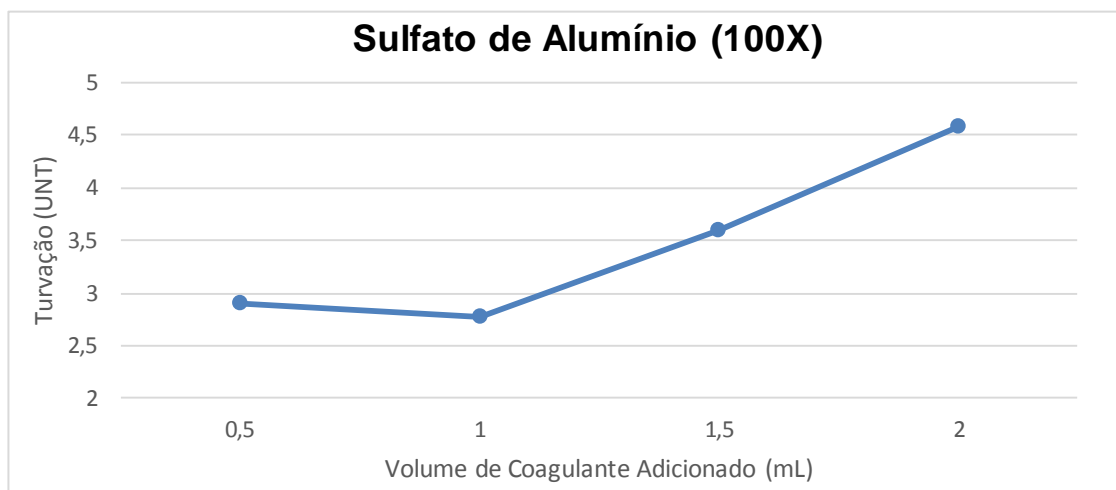
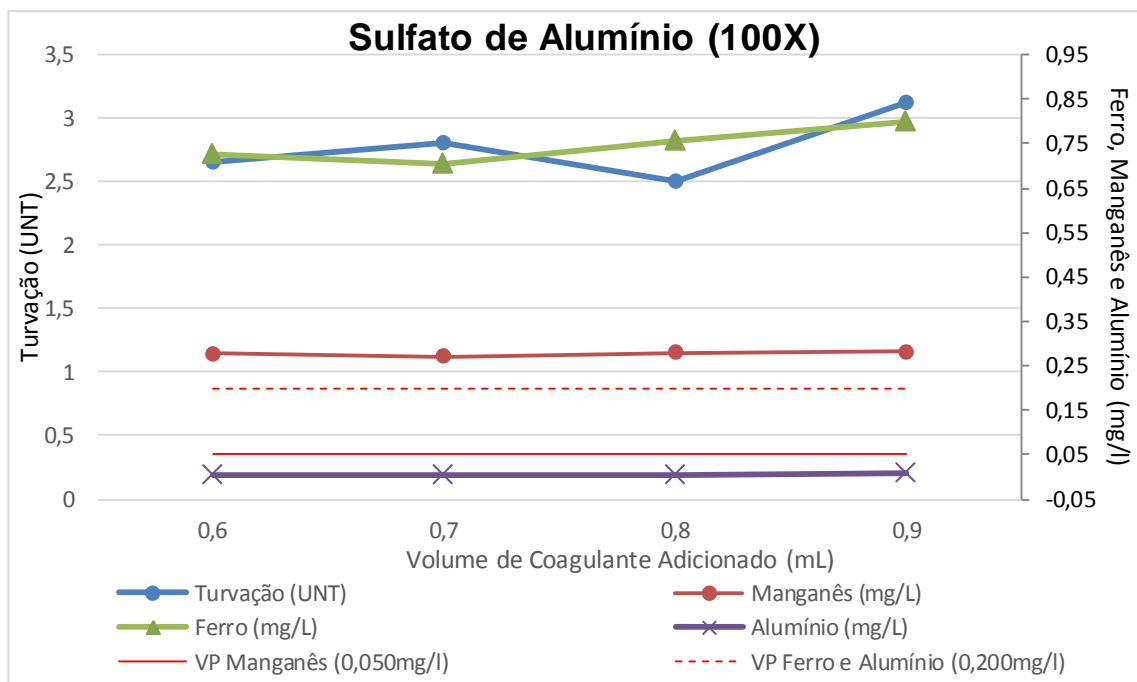
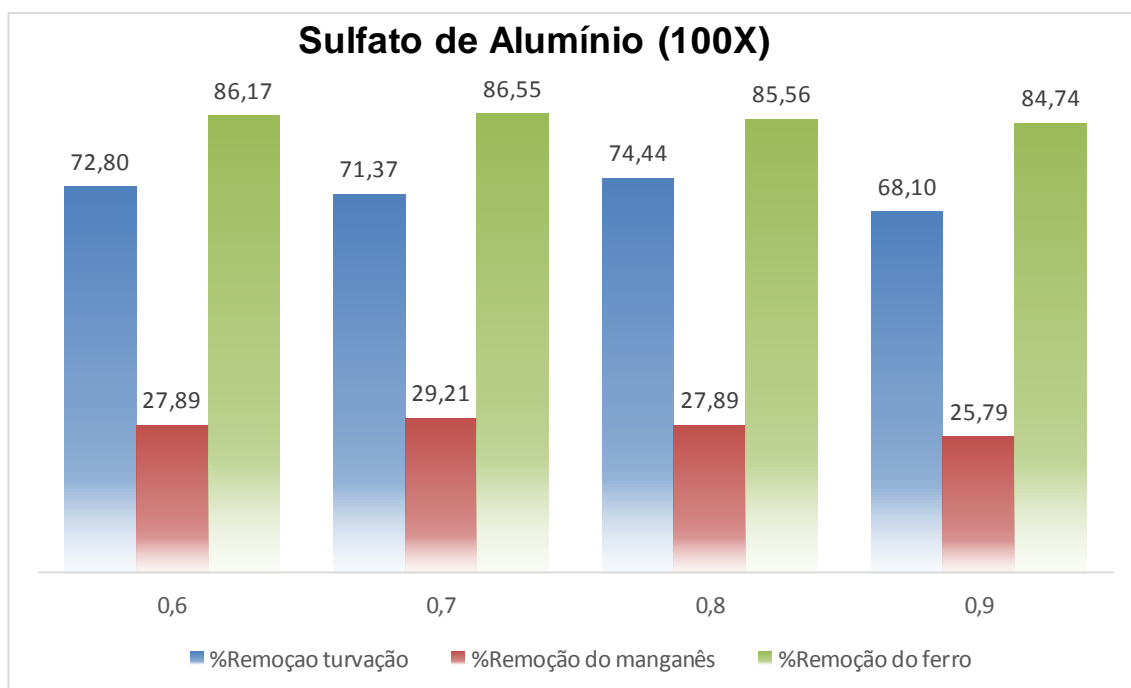


Figura 35 – Valores de turvação para os ensaios de sulfato de alumínio (100X) sem modificação de pH

Ao verificar que os valores de turvação mais baixos eram entre os volumes de 0.5ml (2.9 UNT) e 1.0 ml (2.77 UNT), ajustou-se a gama para 0.6, 0.7, 0.8 e 0.9 ml por litro de amostra. Resultando nas seguintes representações gráficas.



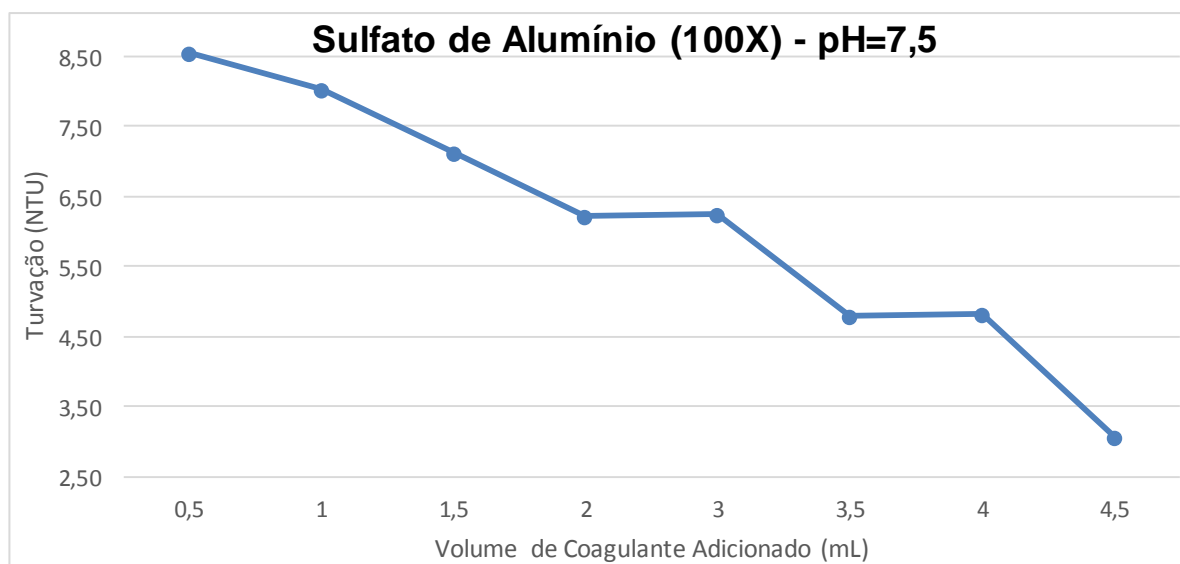
**Figura 36 – Valores de turvação e concentrações de manganês, ferro e alumínio para os ensaios de sulfato de alumínio (100X) sem modificação de pH**



**Figura 37 – Remoção da turvação, manganês e ferro para os ensaios de sulfato de alumínio (100X) sem modificação de pH**

Verificou-se que a concentração de alumínio foi em todos os casos muito baixo, mas a remoção de ferro e manganês não foi a suficiente, pois os valores originados não cumprem com os valores paramétricos impostos na legislação em vigor.

De seguida, aumentou-se o pH da água para um valor aproximado de 7,5 unidades de hidrogénio, mantendo a mesma diluição, 100x. Para uma taxa de tratamento de 0,5, 1,0, 1,5, 2,0, 3,0, 3,5, 4,0 e 4,5 ml para 1 litro de amostra (Figura 38).

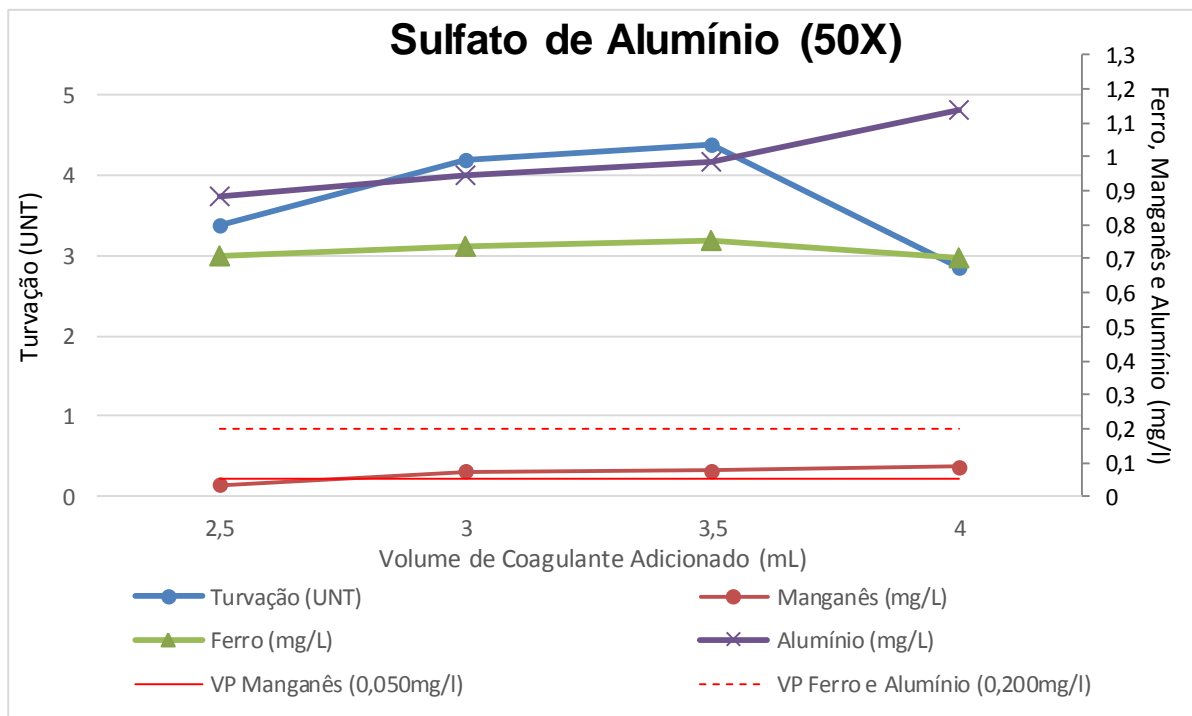


**Figura 38 - Valores de turvação para os ensaios de sulfato de alumínio (100X) com ajuste de pH para 7,5**

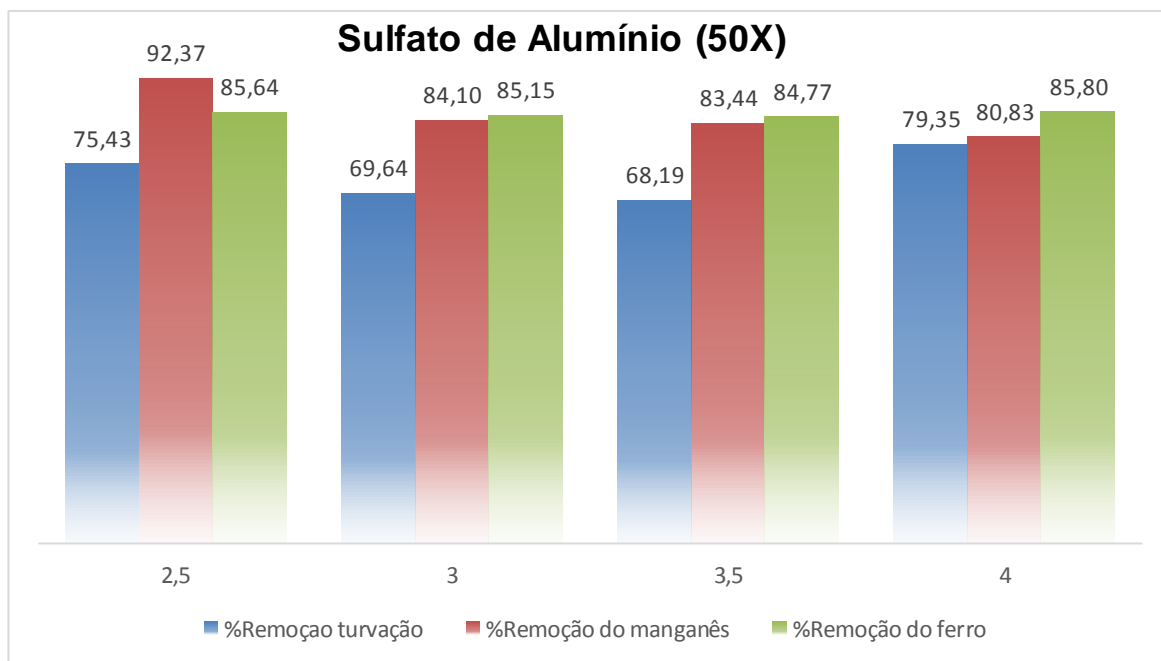
Com a representação gráfica anterior, observa-se que com o aumento da taxa de tratamento do coagulante a turvação diminui, mas não atingiu valores inferiores a 1 UNT.

Posto isto, concluiu-se que a diluição do coagulante não seria a indicada uma vez que para obter os resultados esperados, o volume de coagulante seria generoso. Efetou-se, assim, uma **diluição de 50 vezes**.

Para o pH inicial, os volumes utilizados para os ensaios foram de 2,5, 3,0, 3,5 e 4,0 ml para 1 litro de amostra. Originado as seguintes representações gráficas.



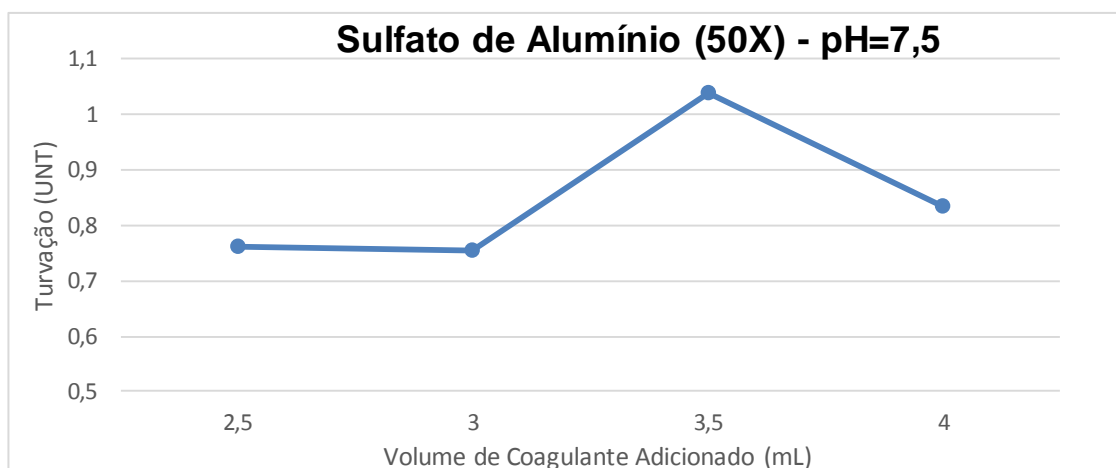
**Figura 39 - Valores de turbidez e concentração de manganês, ferro e alumínio para os ensaios de sulfato de alumínio (50X) sem modificação de pH**



**Figura 40 - Remoção da turbidez, manganês e ferro para os ensaios de sulfato de alumínio (50X) sem modificação de pH**

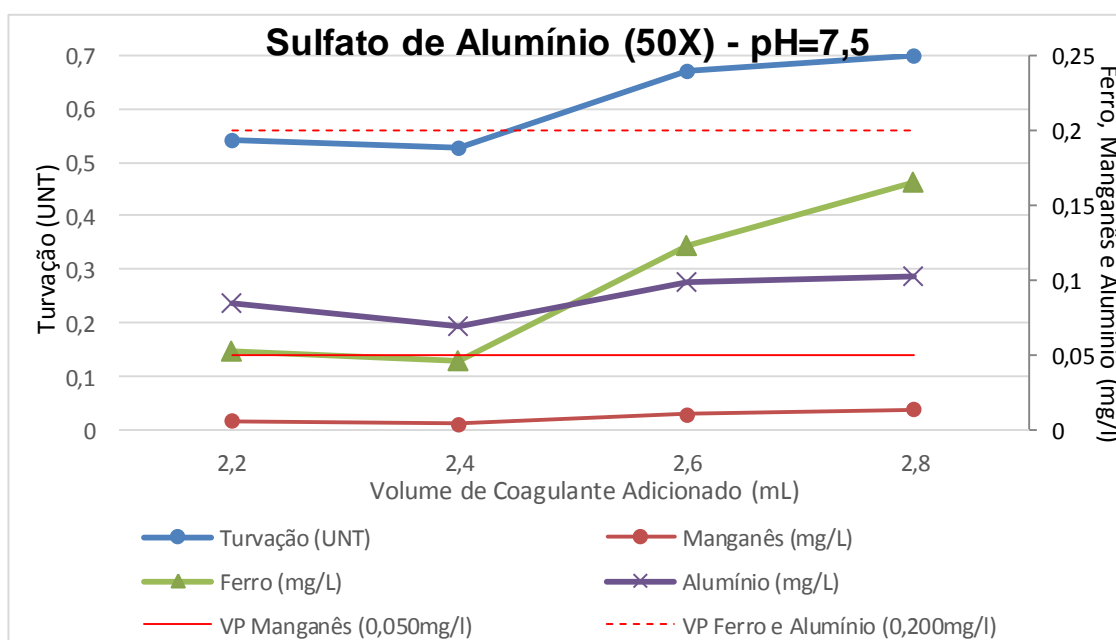
Através dos resultados, verifica-se que o valor de turvação mais baixo é de 2.85 UNT, e que os valores do ferro, manganês e alumínio não cumprem os valores paramétricos definidos na legislação em vigor, 0,703, 0,088 e 1,14 mg/l, respetivamente.

Assim, aumentou-se o pH da água para um valor aproximado de 7,5 unidades de hidrogénio, mantendo a diluição do coagulante de 50X, para uma taxa de tratamento de 2.5, 3.0, 3.5 e 4.0 ml para 1 litro amostra. Representado pela seguinte figura.

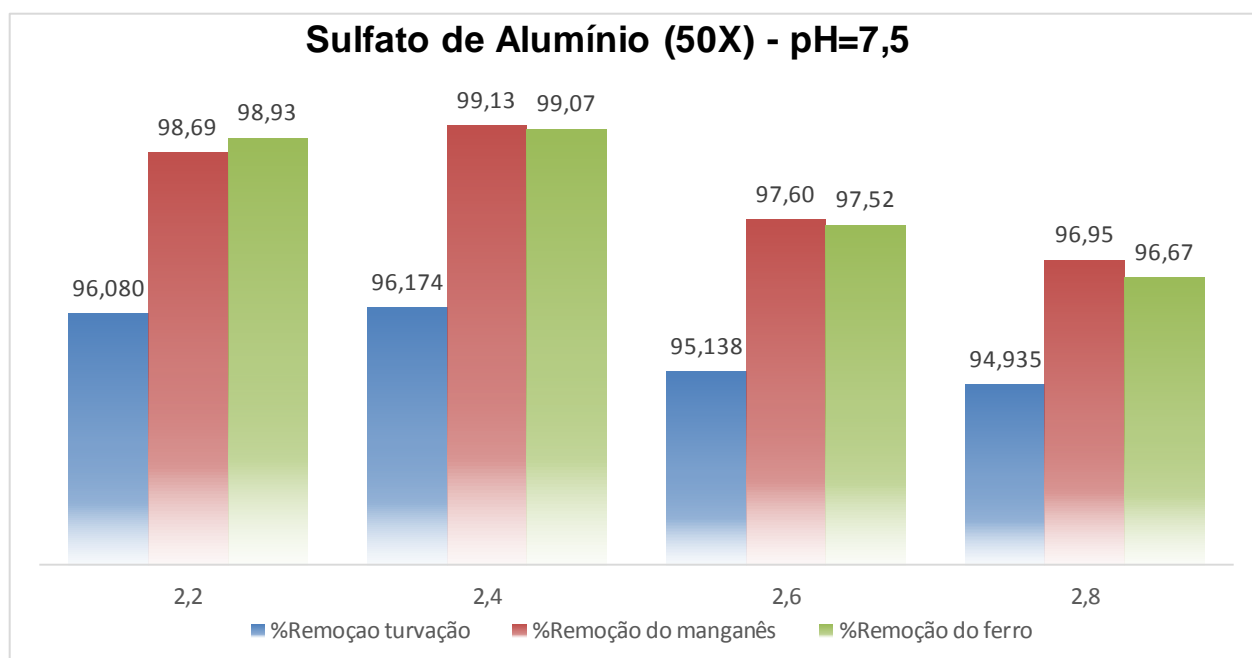


**Figura 41 - Valores de turvação para os ensaios de sulfato de alumínio (50X) com ajuste de pH para 7,5**

Com a representação gráfica da turvação, ajustou-se a taxa de tratamento para 2.2, 2.4, 2.6 e 2.8 ml por litro de água. Surgindo as seguinte figuras.



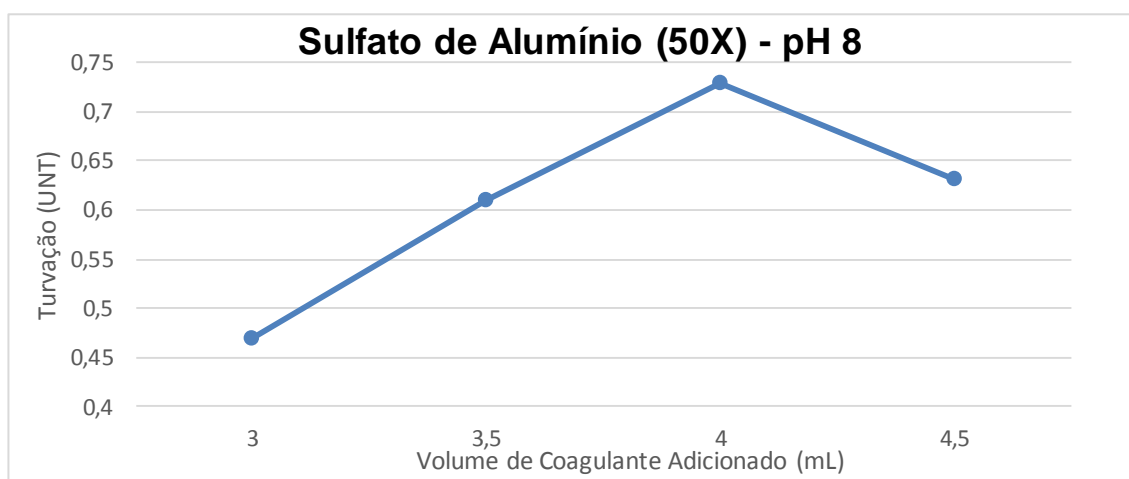
**Figura 42 - Valores de turvação e concentração de manganês, ferro e alumínio para os ensaios de sulfato de alumínio (50X) com ajuste de pH para 7,5**



**Figura 43 - Remoção da turvação, manganês e ferro para os ensaios de sulfato de alumínio (50X) com ajuste de pH para 7,5**

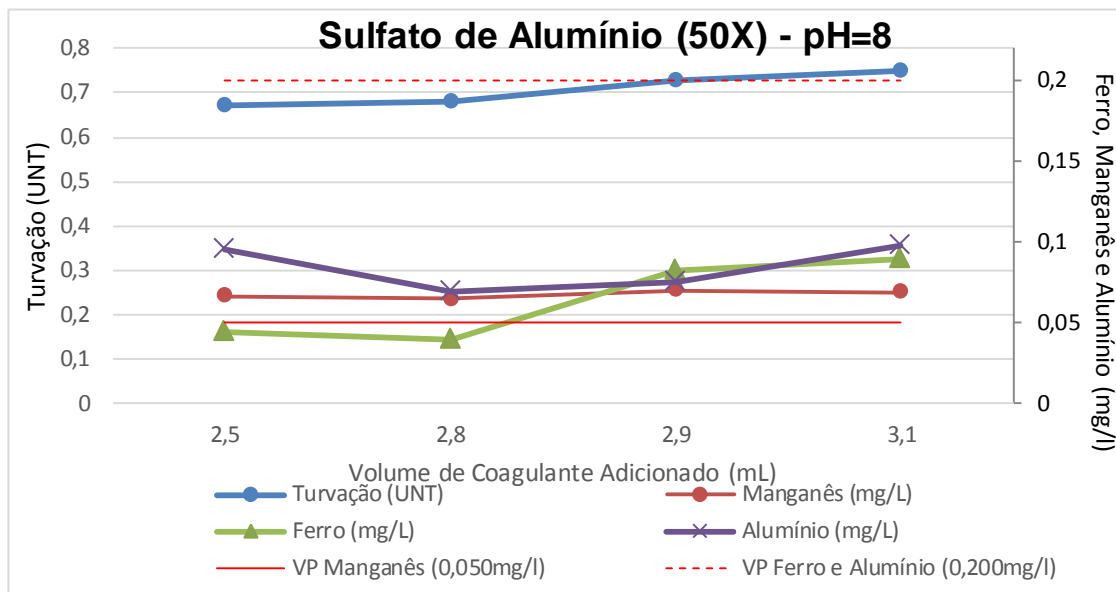
Como se observa, os valores da turvação são inferiores a 1UNT, a remoção do ferro é alta cumprindo com o valor paramétrico de 200 µg/l, assim como o alumínio. O manganês cumpre o valor paramétrico de 50 µg/l em todos os ensaios também..

Por último, testou-se a amostra de água para um pH inicial aproximadamente de 8, mantendo a diluição do coagulante de 50X, para uma taxa de tratamento de 3.0, 3.5, 4.0 e 4,5 ml para 1 litro amostra. Representado pela seguinte figura.

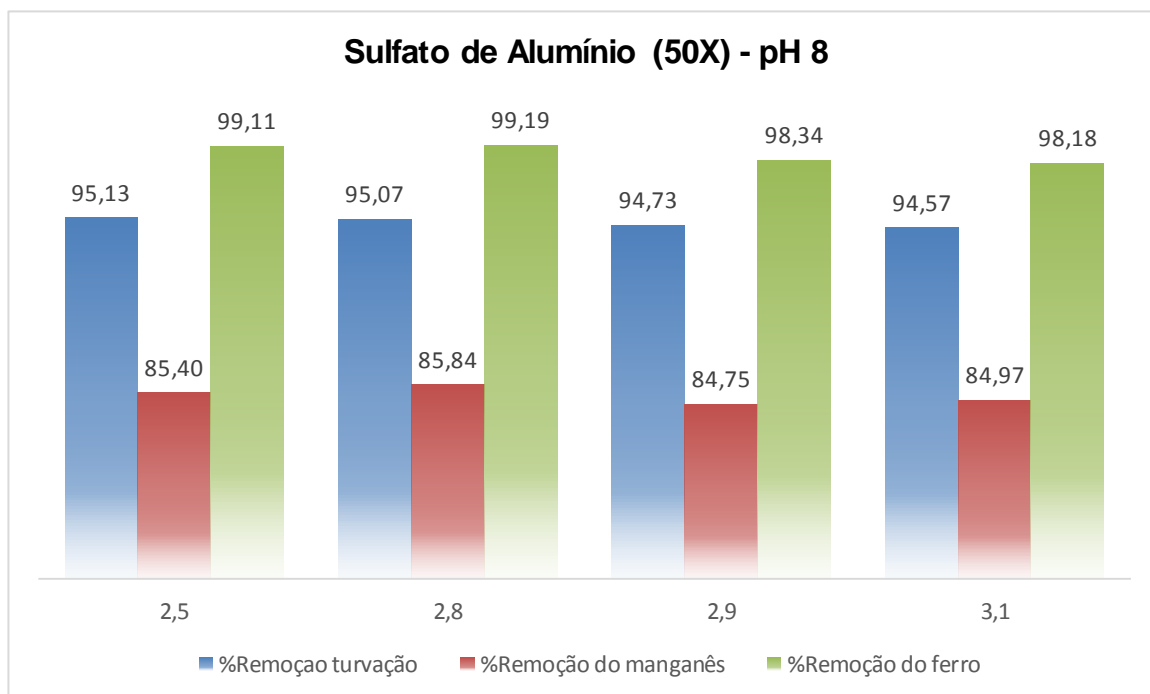


**Figura 44 - Valores de turvação para os ensaios de sulfato de alumínio (50X) com ajuste de pH para 8,0**

Ajustando a taxa de tratamento para 2.5, 2.8, 2.9 e 3.1 ml de coagulante por cada litro de amostra, resultou as seguintes representações gráficas.



**Figura 45 - Valores de turvação e concentração de manganês, ferro e alumínio para os ensaios de sulfato de alumínio (50X) com ajuste de pH para 8,0**



**Figura 46 - Remoção da turvação, manganês e ferro para os ensaios de sulfato de alumínio (50X) com ajuste de pH para 8,0**

Com as representações gráficas, verifica-se que todos os parâmetros estudados cumprem os valores paramétricos, ao invés do manganês onde nenhum ensaio cumpre.



Em suma, para o coagulante Sulfato de Alumínio, diluído 50 vezes, o pH ótimo é de 7,5, uma vez que remove o manganês e todos os outros parâmetros estudados, com uma taxa de tratamento de 2,4 ml de coagulante por cada litro de amostra de água clorada, apresentando o valor mais baixo de turvação de 0,528 UNT e uma concentração de alumínio de 0,069 mg/l.

## 4.2 Polihidroxiclorosulfato de alumínio - WAC AB

O segundo coagulante a ser testado foi o coagulante WAC AB, primeiramente com uma **diluição efetuada de 100 vezes** e para o pH original da amostra clorada colhida. Os volumes utilizados para 1 litro de amostra foram 0.5, 1.0, 1.5 e 2.0 ml, obtendo a seguinte representação gráfica.

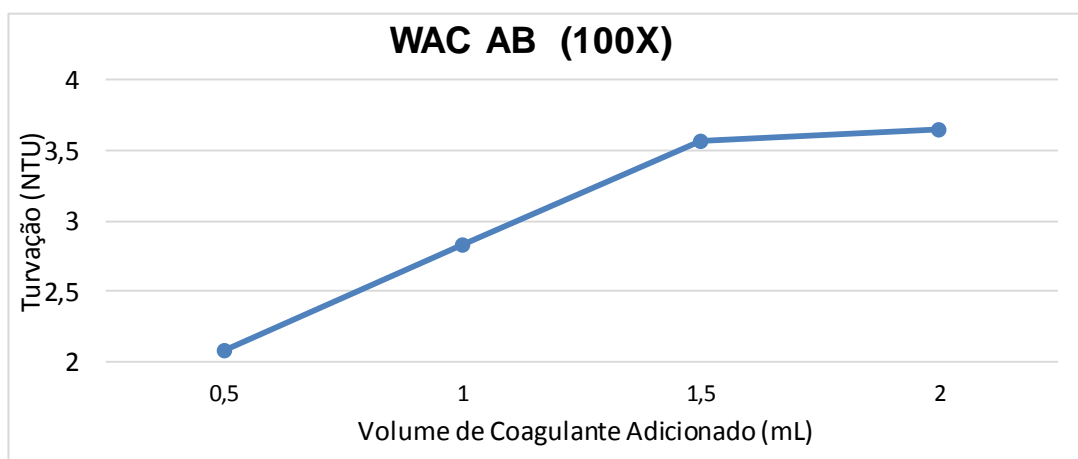
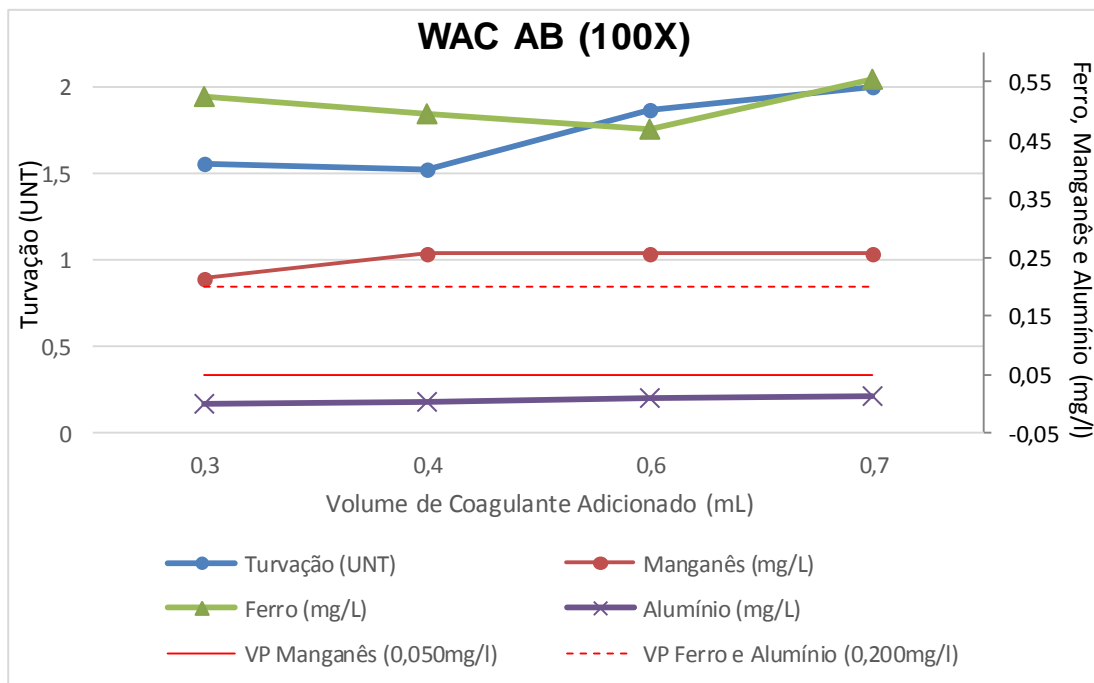
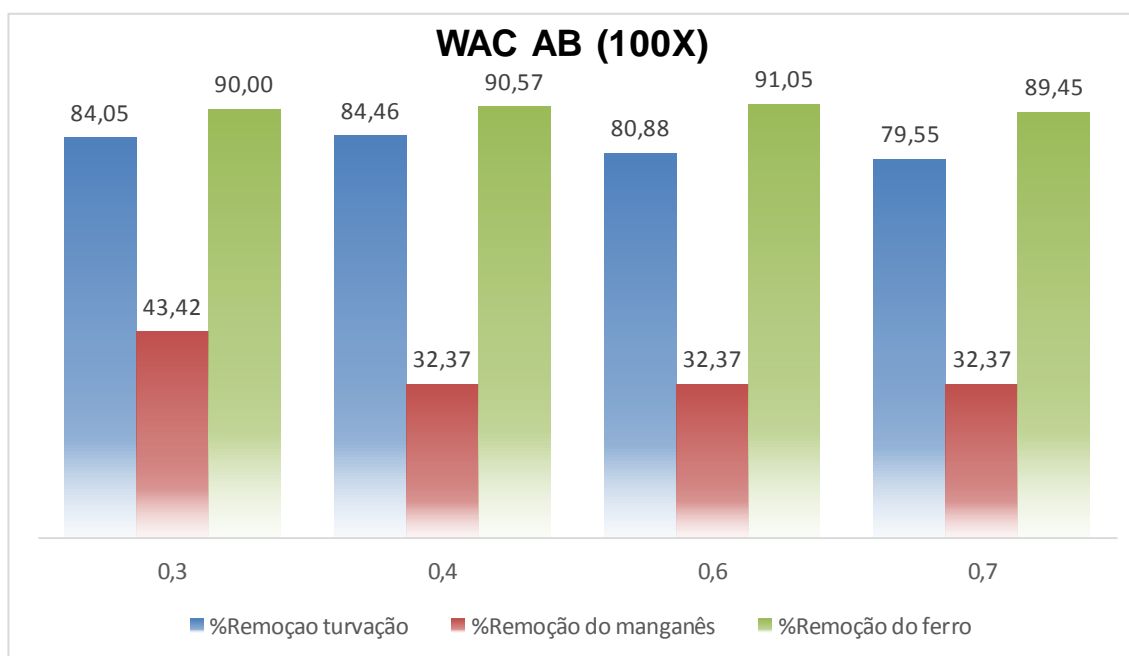


Figura 47 - Valores de turvação para os ensaios de WAC AB (100X) sem modificação de pH

Ao verificar que o valor de turvação mais baixo foi onde a taxa de tratamento era de 0,5 ml por litro de amostra ajustou-se a gama para 0.3, 0.4, 0.6 e 0.7 ml por litro de amostra. Resultando nas seguintes representações gráficas.



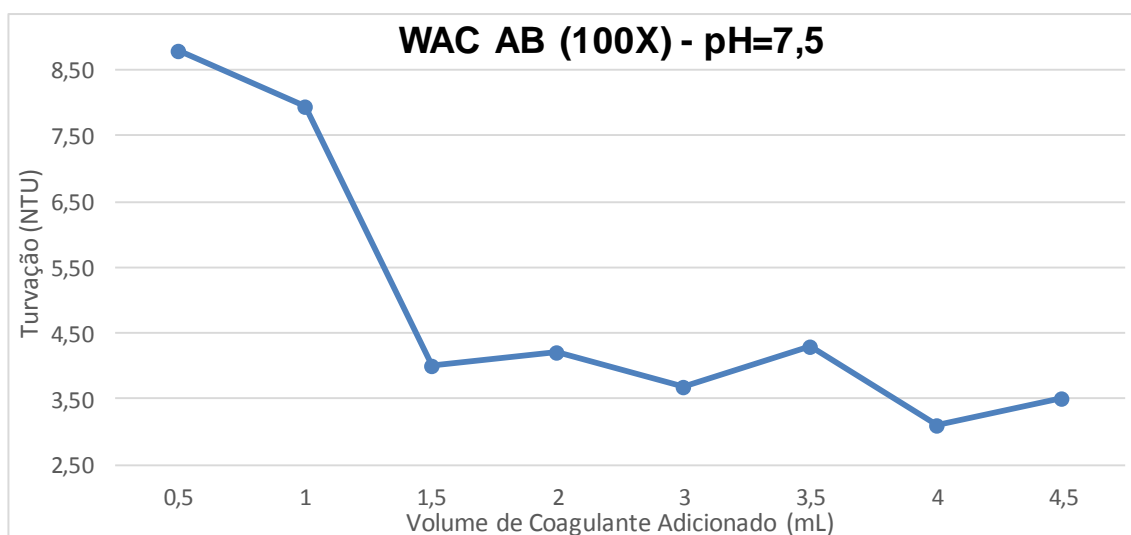
**Figura 48 - Valores de turvação e concentração de manganês, ferro e alumínio para os ensaios de WAC AB (100X) sem modificação de pH**



**Figura 49 - Remoção da turvação, manganês e ferro para os ensaios de WAC AB (100X) sem modificação de pH**

Verificou-se que a concentração de alumínio foi em todos os casos muito baixo, mas a remoção de ferro e manganês não foi a suficiente, pois os valores originados não cumprem os valores paramétricos imposto na legislação em vigor.

De seguida, aumentou-se o pH da água para um valor aproximado de 7,5 unidades de hidrogénio, mantendo a mesma diluição, 100x. Para uma taxa de tratamento de 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 3.5, 4.0 e 4.5 ml para 1 litro de amostra. (Figura 50)

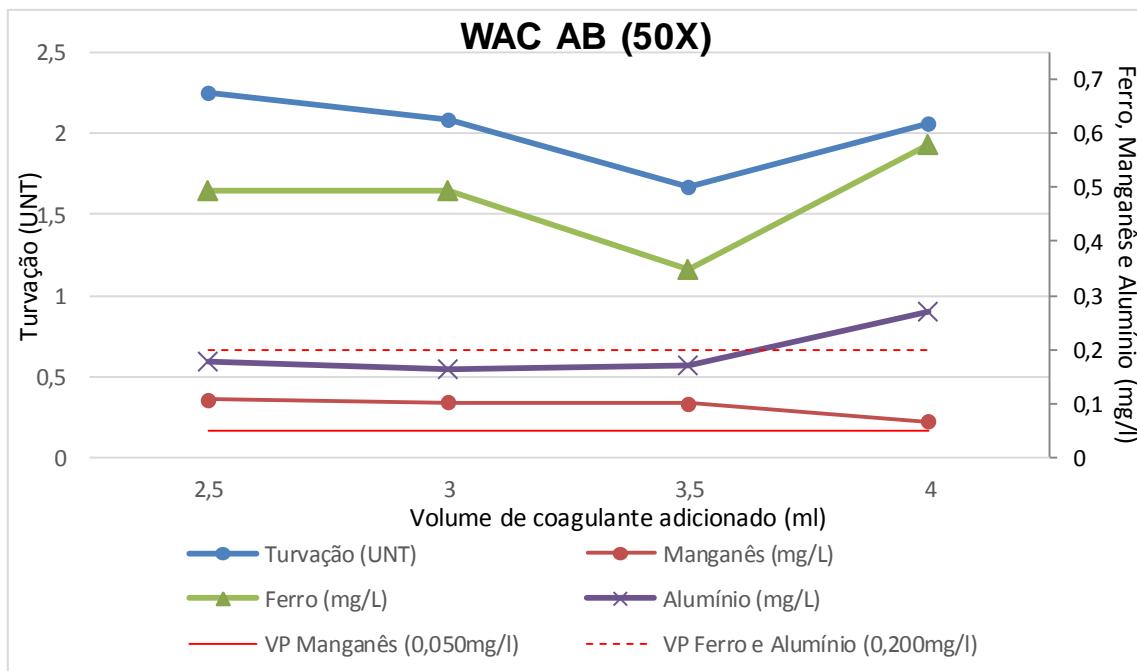


**Figura 50 - Valores de turvação para os ensaios de WAC AB (100X) com ajuste de pH para 7,5**

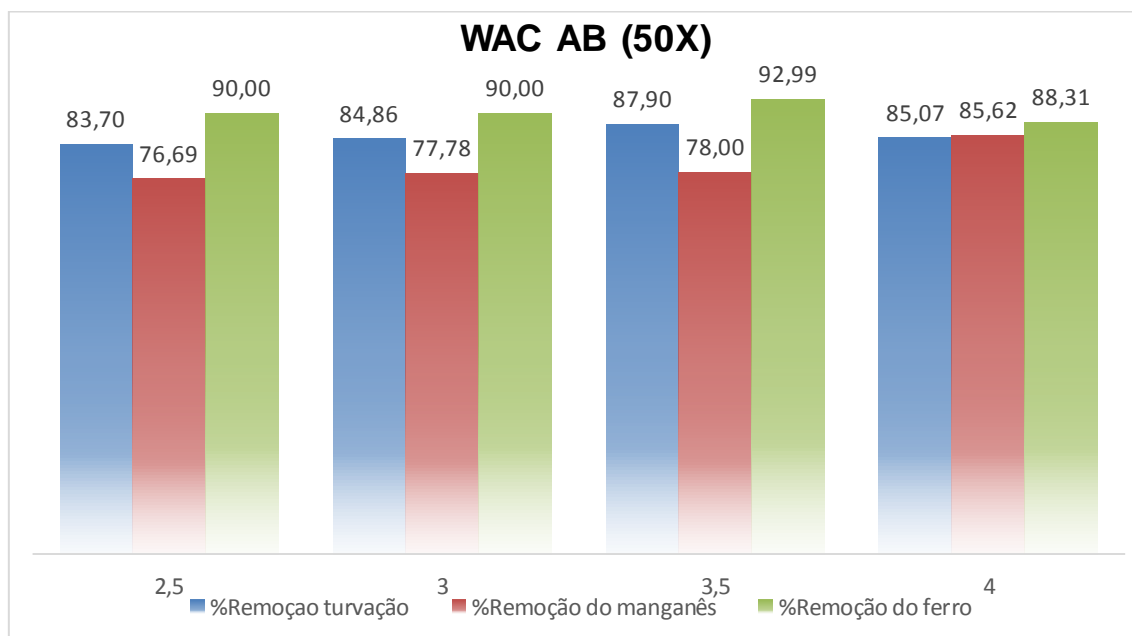
Com a representação gráfica anterior, observa-se que com o aumento da taxa de tratamento do coagulante a turvação diminui, ficando longe do valor de 1 UNT.

Assim, concluiu-se que a diluição do coagulante não seria a indicada uma vez que para obter os resultados esperados, o volume de coagulante seria generoso. Efetou-se, assim, uma **diluição de 50 vezes**.

Para o pH inicial, os volumes utilizados para os ensaios foram de 2.5, 3.0, 3.5 e 4.0 ml para 1 litro de amostra. Originado as seguintes representações gráficas



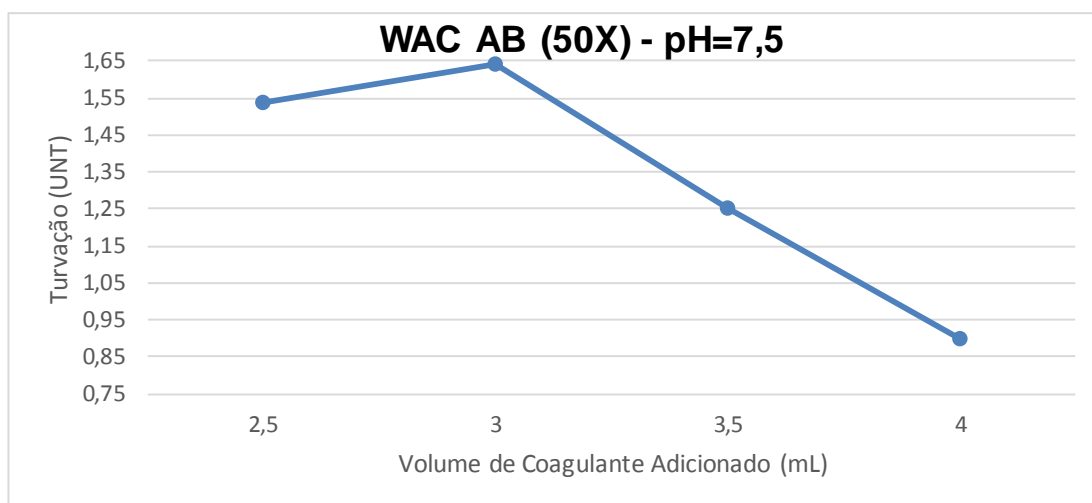
**Figura 51 - Valores de turvação e concentração de manganês, ferro e alumínio para os ensaios de WAC AB (50X) sem modificação de pH**



**Figura 52 - Remoção da turvação, manganês e ferro para os ensaios de WAC AB (50X) sem modificação de pH**

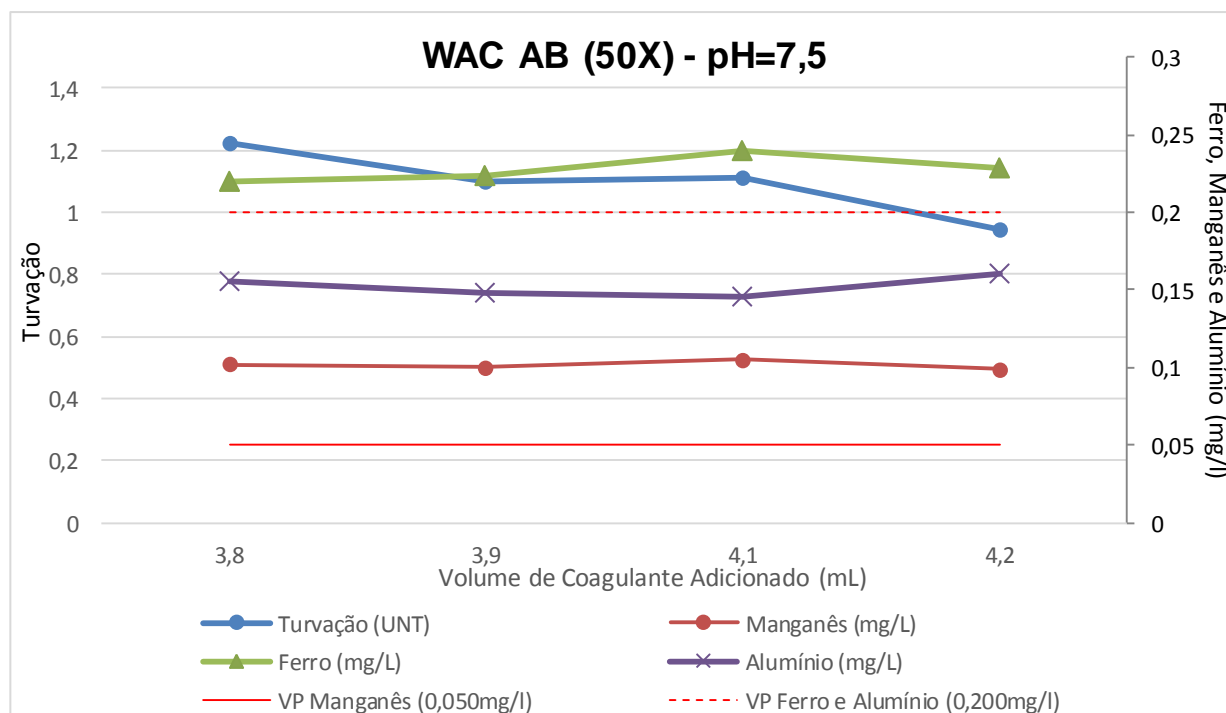
Através dos resultados, verifica-se que o valor de turvação mais baixo é de 1,67 UNT, e que os valores do ferro e manganês não cumprem os valores paramétricos definidos na legislação em vigor, 0,347 e 0,101 mg/l, respetivamente. Ao contrário da concentração de alumínio, que cumpre o valor paramétrico de 200 µg/l.

Assim, aumentou-se o pH da água para um valor aproximado de 7,5 unidades de hidrogénio, mantendo a diluição do coagulante de 50X, para uma taxa de tratamento de 2,5, 3,0, 3,5 e 4,0 ml para 1 litro amostra. Representado pela seguinte figura.

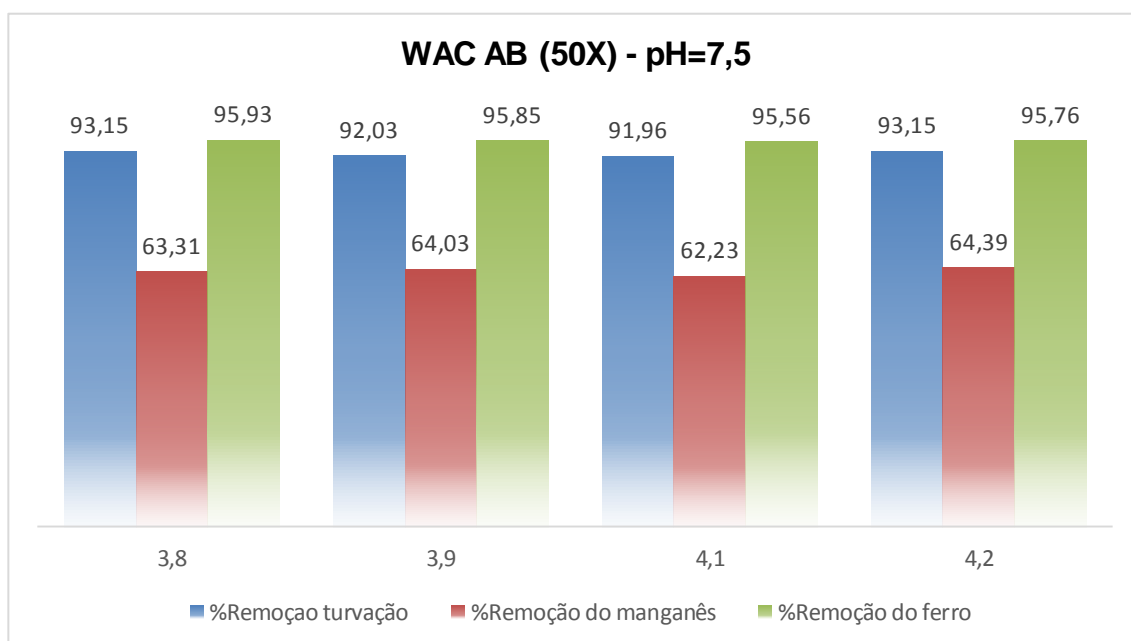


**Figura 53 - Valores de turvação para os ensaios de WAC AB (50X) com ajuste de pH para 7,5**

Ajustando a gama de tratamento, com base na última representação gráfica, para 3,8, 3,9, 4,1 e 4,2 ml de coagulante para 1 litro de amostra, surgiram as seguintes figuras.



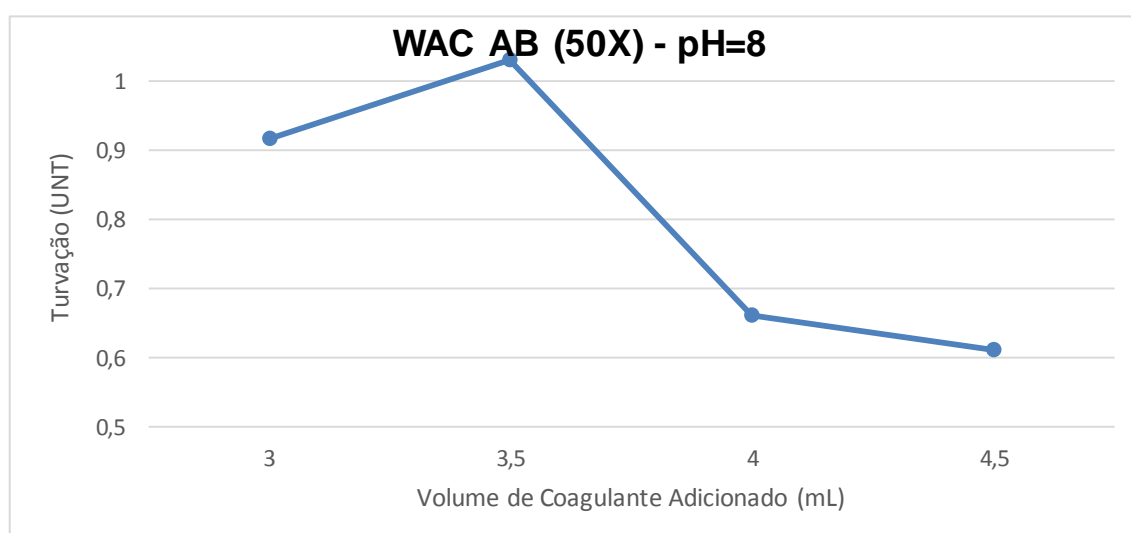
**Figura 54 - Valores de turvação e concentração de manganês, ferro e alumínio para os ensaios de WAC AB (50X) com ajuste de pH para 7,5**



**Figura 55 - Remoção da turvação, manganês e ferro para os ensaios de WAC AB (50X) com ajuste de pH para 7,5**

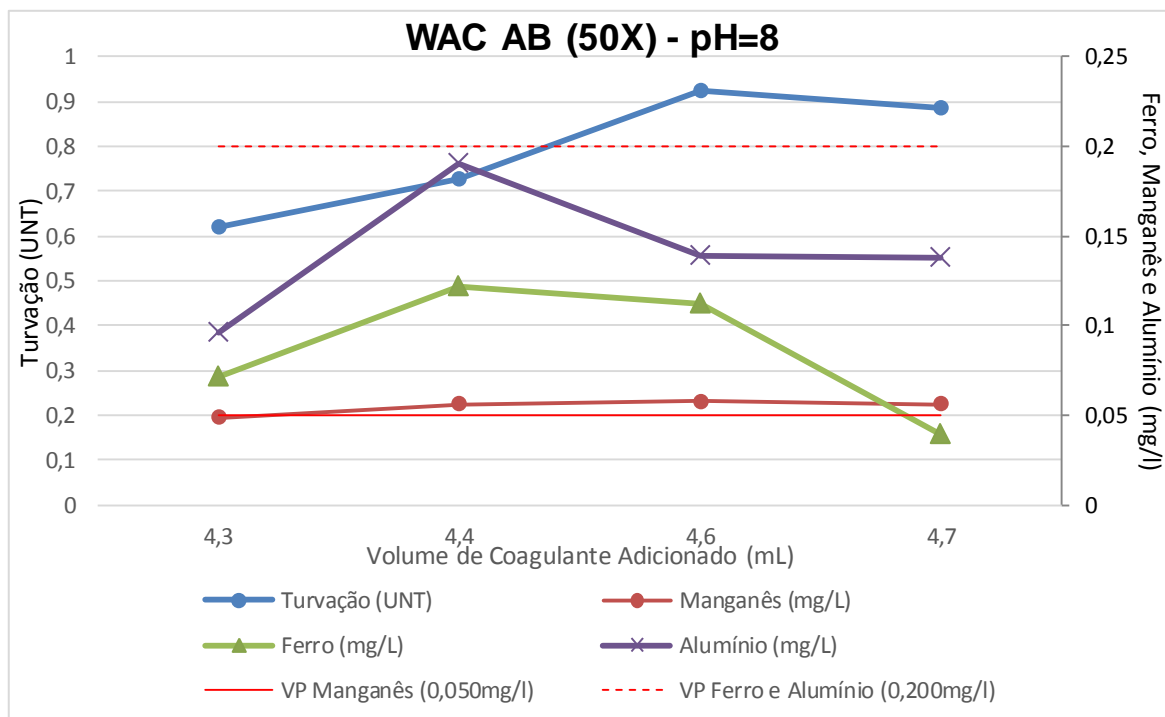
Como se observa, apenas um ensaio apresenta valores de turvação inferior a 1UNT, a remoção do ferro é alta mas não cumpre com o valor paramétrico de 200 µg/l, assim como o manganês não cumpre com o valor paramétrico de 50 µg/l. O alumínio cumpre o valor paramétrico de 200 µg/l em todos os ensaios.

Por último, testou-se a amostra de água para um ajuste de pH aproximadamente de 8, mantendo a diluição do coagulante de 50X, para uma taxa de tratamento de 3.0, 3.5, 4.0 e 4,5 ml para 1 litro amostra. Representado pela seguinte figura.

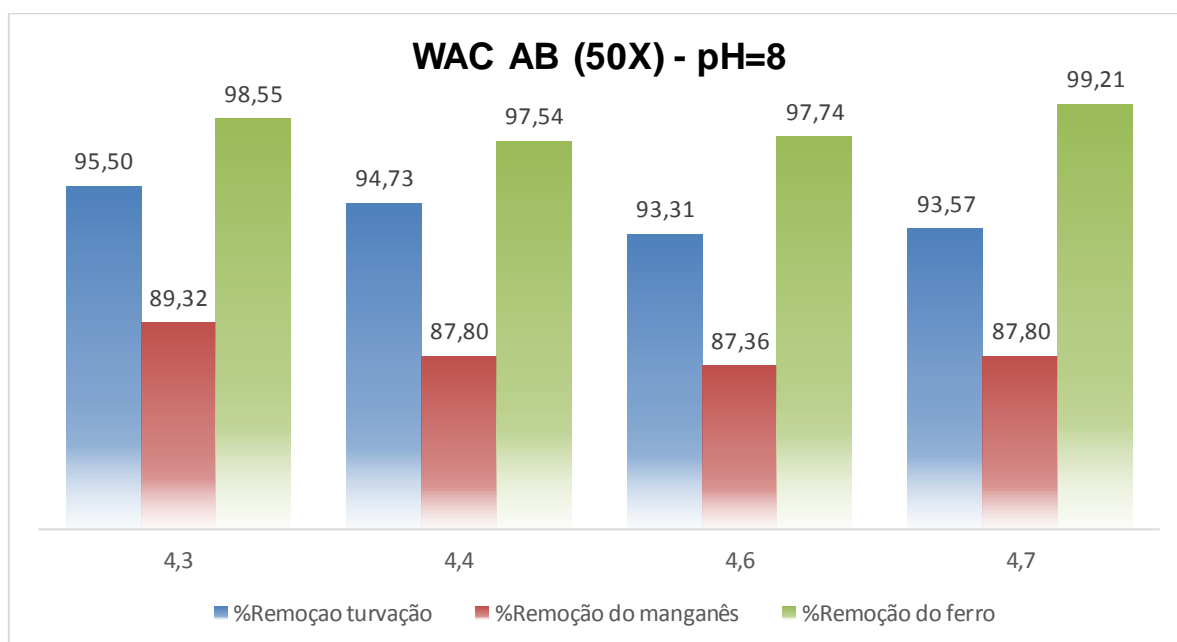


**Figura 56 - Valores de turvação para os ensaios de WAC AB (50X) com ajuste de pH para 8,0**

Ajustando a taxa de tratamento para 4.3, 4.4, 4.6 e 4.7 ml de coagulante por cada litro de amostra, resultou as seguintes representações gráficas.



**Figura 57 - Valores de turvação e concentração de manganês, ferro e alumínio para os ensaios de WAC AB (50X) com ajuste de pH para 8,0**



**Figura 58 - Remoção da turvação, manganês e ferro para os ensaios de WAC AB (50X) com ajuste de pH para 8,0**

Com as representações gráficas, verifica-se que o ferro e o alumínio cumprem os valores paramétricos, ao invés do manganês que apenas um ensaio cumpre com o volume de 4,3 ml de coagulante.

Em suma, para o coagulante WAC AB, para uma diluição de 50 vezes, o pH ótimo é de 8,0, uma vez que remove o manganês e todos os outros parâmetros estudados, com uma taxa de tratamento de 4,3 ml de coagulante por cada litro de amostra de água clorada, apresentando o valor de turvação de 0,621 UNT e uma concentração de alumínio de 0,096mg/l.

#### 4.3 Solução Aquosa de Sulfato Hidróxido Cloreto de Alumínio - WAC

O último coagulante a ser testado foi o coagulante WAC, primeiramente com uma **diluição efetuada de 100 vezes** e para o pH original da amostra clorada colhida. Os volumes utilizados para 1 litro de amostra foram 0,5, 1,0, 1,5 e 2,0 ml, obtendo a seguinte representação gráfica.

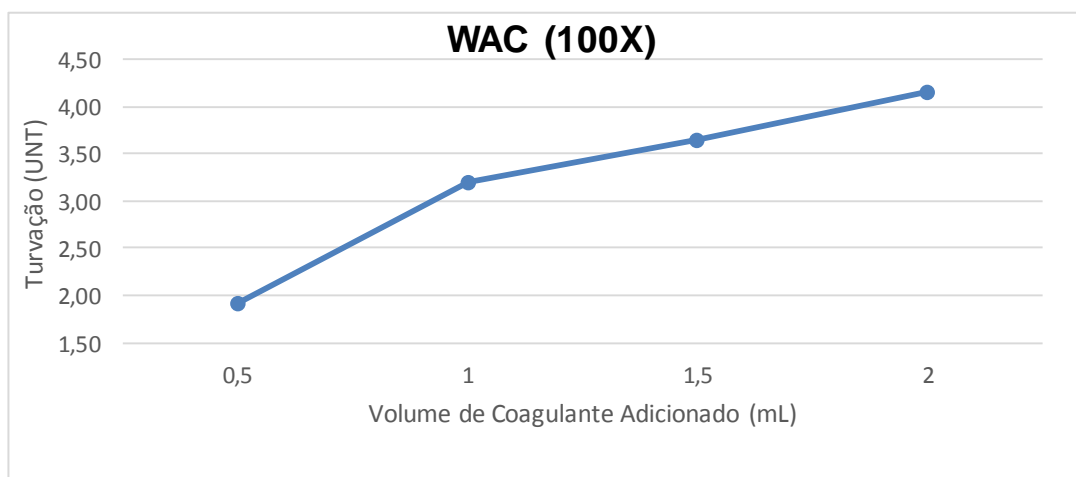
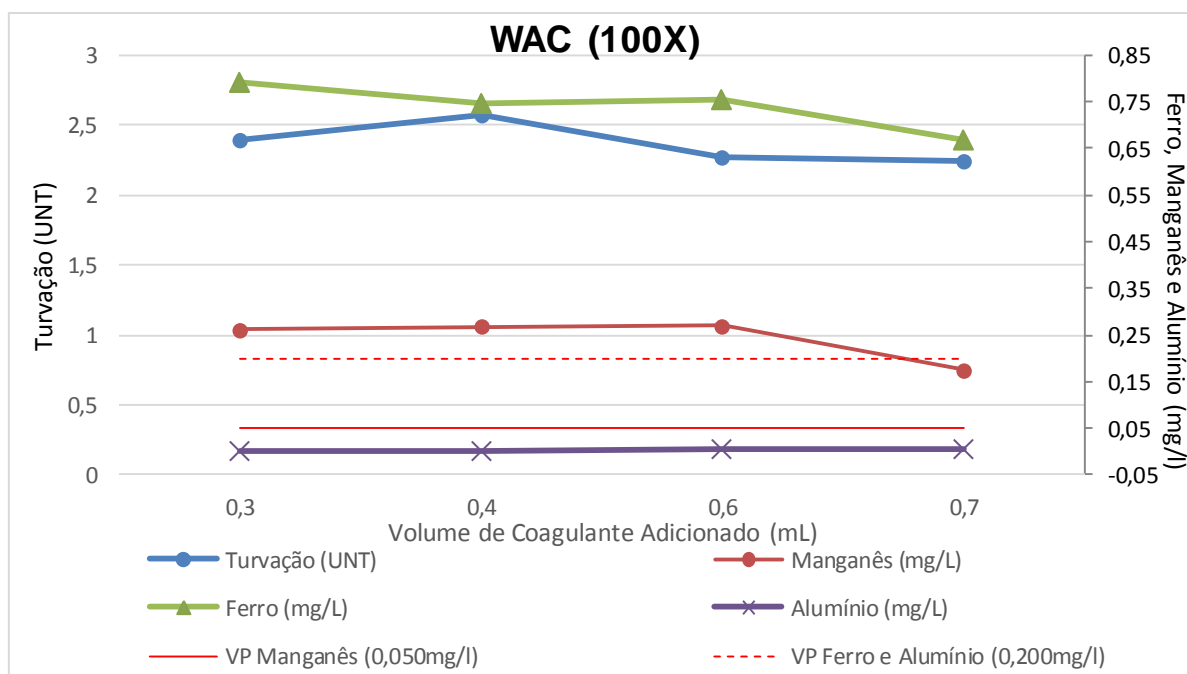


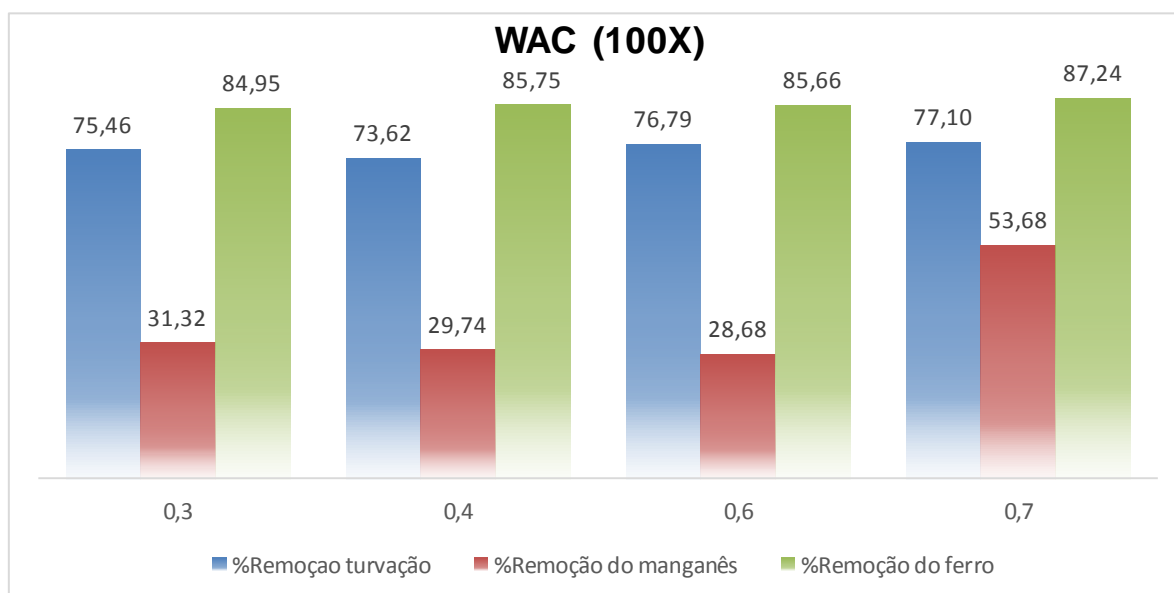
Figura 59 - Valores de turvação para os ensaios de WAC (100X) sem modificação de pH

Ao verificar que o valor de turvação mais baixo foi onde a taxa de tratamento era de 0,5 ml por litro de amostra ajustou-se a gama para 0,3, 0,4, 0,6 e 0,7 ml por litro de amostra. Resultando nas seguintes representações gráficas.





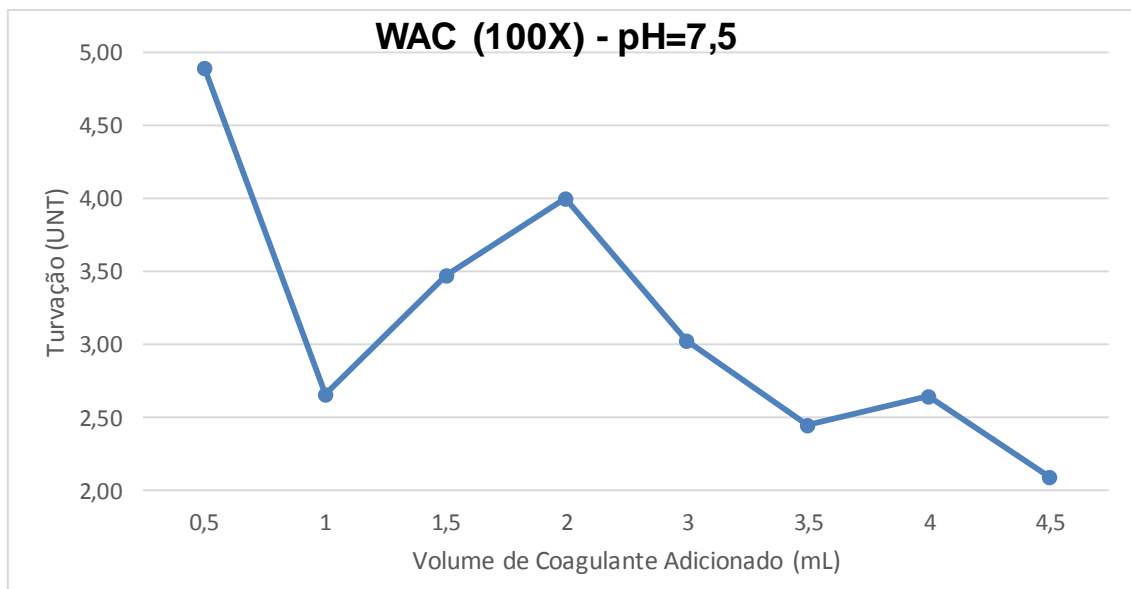
**Figura 60 - Valores de turvação e concentração de manganês, ferro e alumínio para os ensaios de WAC (100X) sem modificação de pH**



**Figura 61 - Remoção da turvação, manganês e ferro para os ensaios de WAC (100X) sem modificação de pH**

Verificou-se que a concentração de alumínio foi em todos os casos muito baixa, mas a remoção de ferro e manganês não foi a suficiente, pois os valores originados não cumprem os valores paramétricos imposto na legislação em vigor.

De seguida, aumentou-se o pH da água para um valor aproximado de 7,5 unidades de hidrogénio, mantendo a mesma diluição, 100X. Para uma taxa de tratamento de 0,5, 1,0, 1,5, 2,0, 3,0, 3,5, 4,0 e 4,5 ml para 1 litro de amostra. (Figura 62)

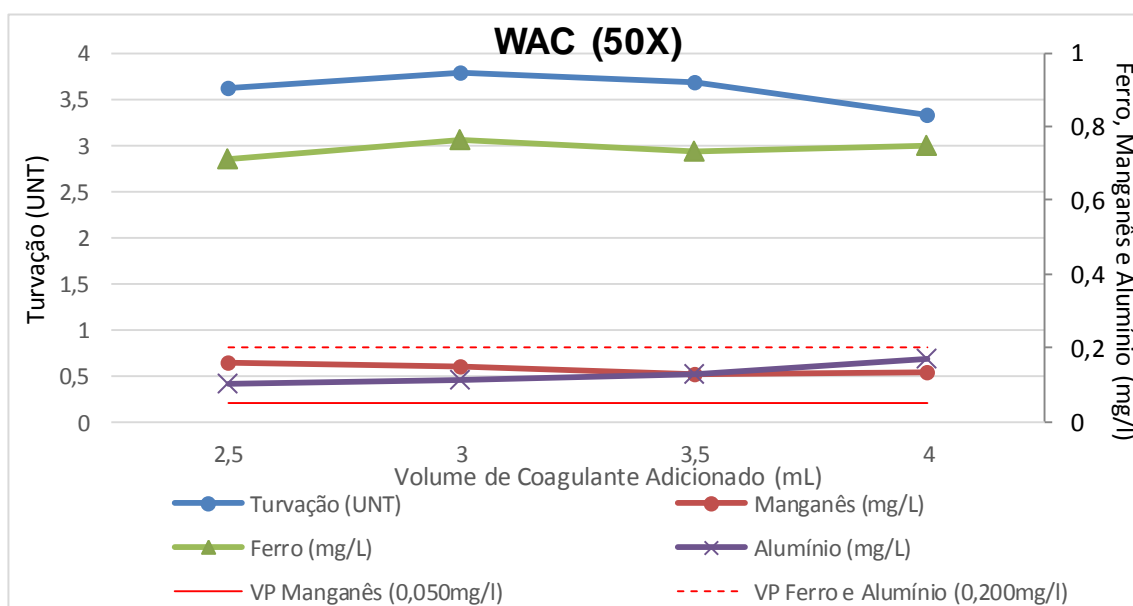


**Figura 62 - Valores de turvação para os ensaios de WAC (100X) com ajuste de pH para 7,5**

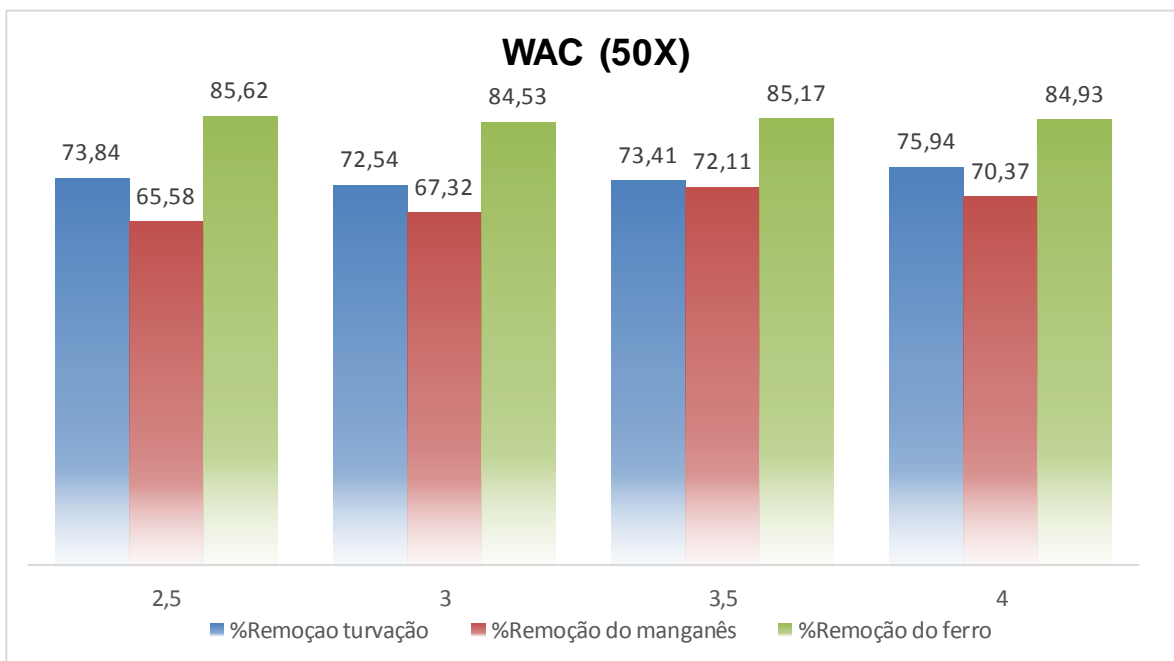
Com a representação gráfica anterior, observa-se que com o aumento da taxa de tratamento do coagulante a turvação diminui, mas longe do valor pretendido de 1 UNT.

Com isto, concluiu-se que a diluição do coagulante não seria a indicada uma vez que para obter os resultados esperados, o volume de coagulante seria generoso. Efetou-se, assim, uma **diluição de 50 vezes**.

Para o pH inicial, os volumes utilizados para os ensaios foram de 2,5, 3,0, 3,5 e 4,0 ml para 1 litro de amostra. Originado as seguintes representações gráficas.



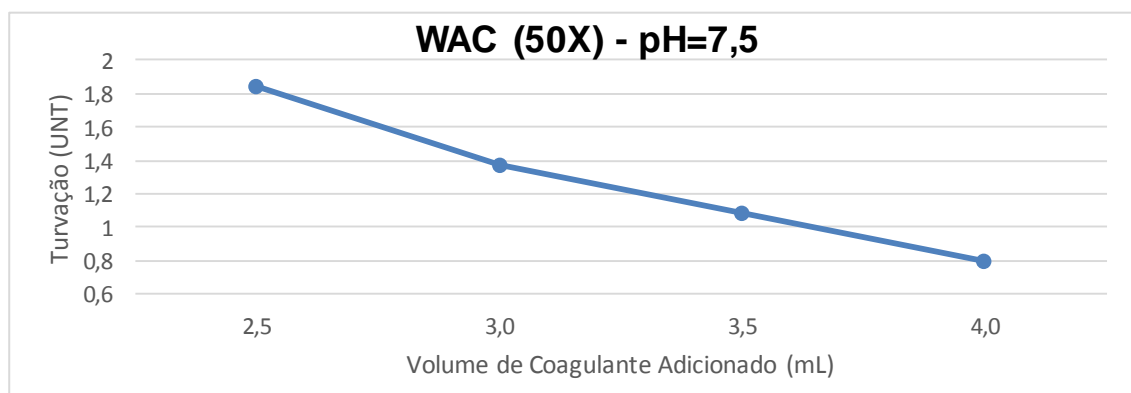
**Figura 63 - Valores de turvação e concentração de manganês, ferro e alumínio para os ensaios de WAC (50X) sem modificação de pH**



**Figura 64 - Remoção da turvação, manganês e ferro para os ensaios de WAC (50X) sem modificação de pH**

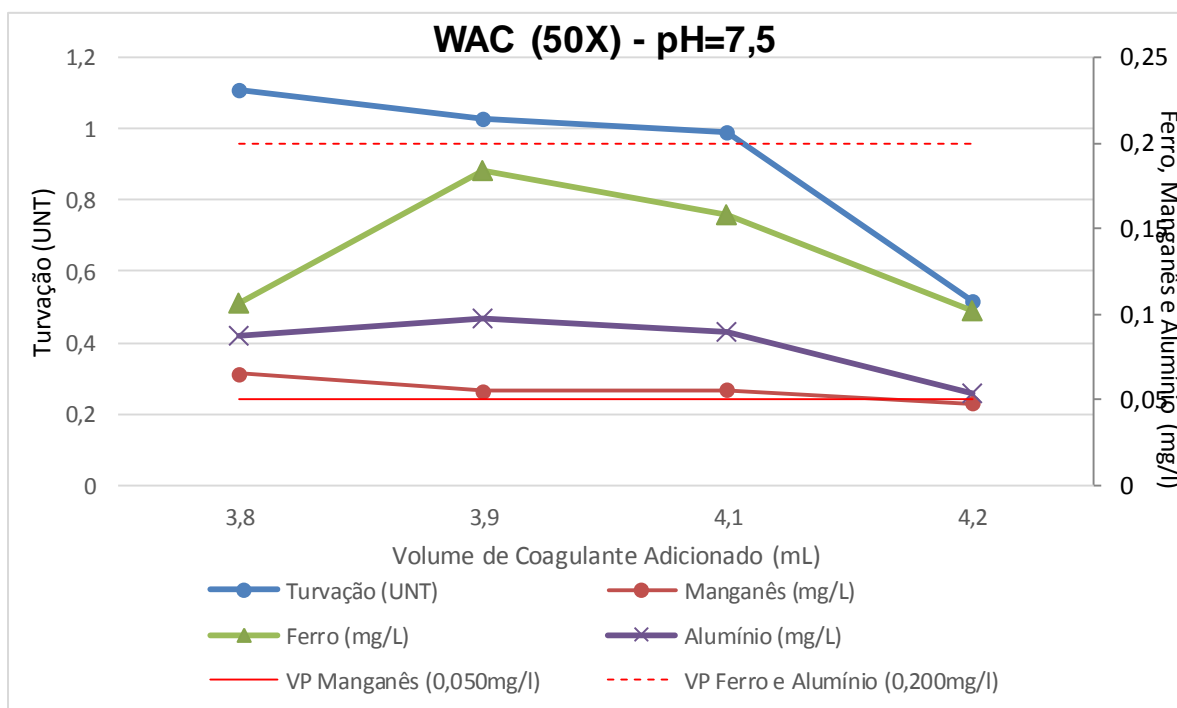
Através dos resultados, verifica-se que o valor de turvação mais baixo é de 3,32 UNT, e que os valores do ferro e manganês não cumprem os valores paramétricos definidos na legislação em vigor, 0,746 e 0,136 mg/l, respetivamente. Ao contrário da concentração de alumínio, cumpre o valor paramétrico de 200 µg/l.

Assim, aumentou-se o pH da água para um valor aproximado de 7,5 unidades de hidrogénio, mantendo a diluição do coagulante de 50X, para uma taxa de tratamento de 2.5, 3.0, 3.5 e 4.0 ml para 1 litro amostra. Representado pela seguinte figura.

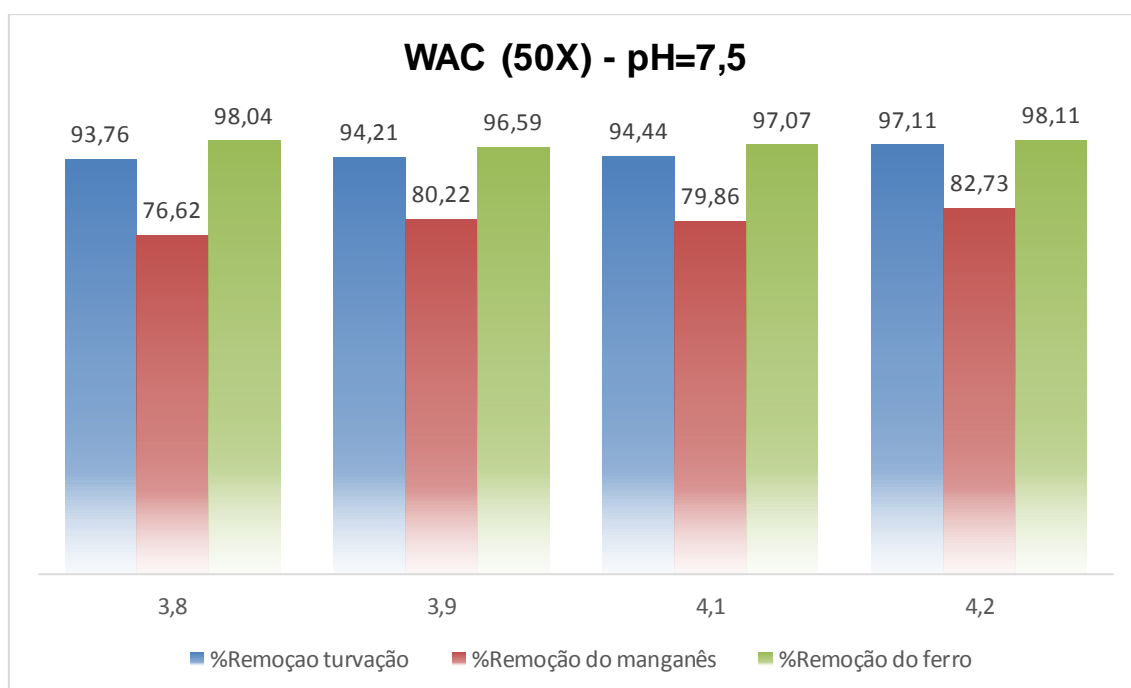


**Figura 65 - Valores de turvação para os ensaios de WAC (50X) com ajuste de pH para 7,5**

Ajustando a gama de tratamento, com base na última representação gráfica, para 3.8, 3.9, 4.1 e 4.2 ml de coagulante para 1 litro de amostra, surgiram as seguintes figuras.



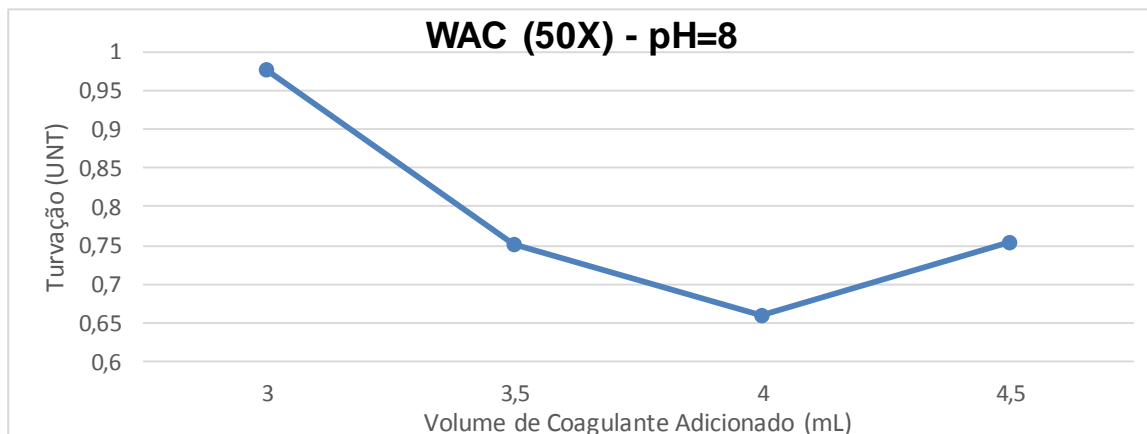
**Figura 66 - Valores de turvação e concentração de manganês, ferro e alumínio para os ensaios de WAC (50X) com ajuste de pH para 7,5**



**Figura 67 - Remoção da turvação, manganês e ferro para os ensaios de WAC (50X) com ajuste de pH para 7,5**

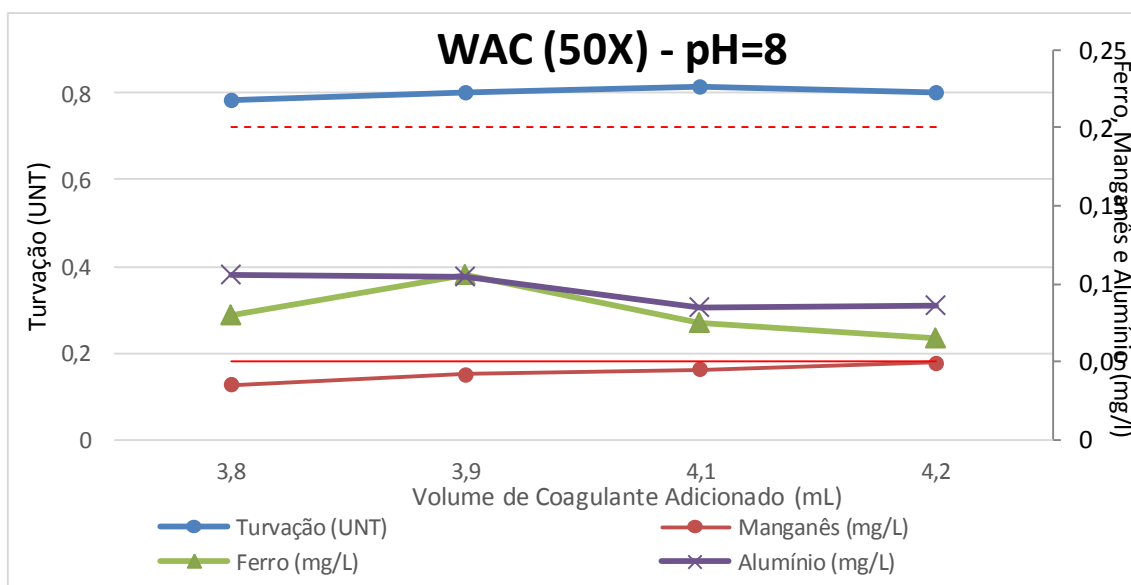
Ao observar as Figuras 65 e 67, dois ensaios apresentam valores de turvação inferior a 1UNT, a remoção do ferro é alta cumprindo com o valor paramétrico de 200 µg/l, assim como o alumínio. Ao invés, o manganês só cumpre o valor de 50 µg/l no ensaio com o volume de 4,2 ml de coagulante.

Por último, testou-se a amostra de água para um ajuste de pH aproximadamente de 8, mantendo a diluição do coagulante de 50X, para uma taxa de tratamento de 3,0, 3,5, 4,0 e 4,5 ml para 1 litro amostra. Representado pela seguinte figura.

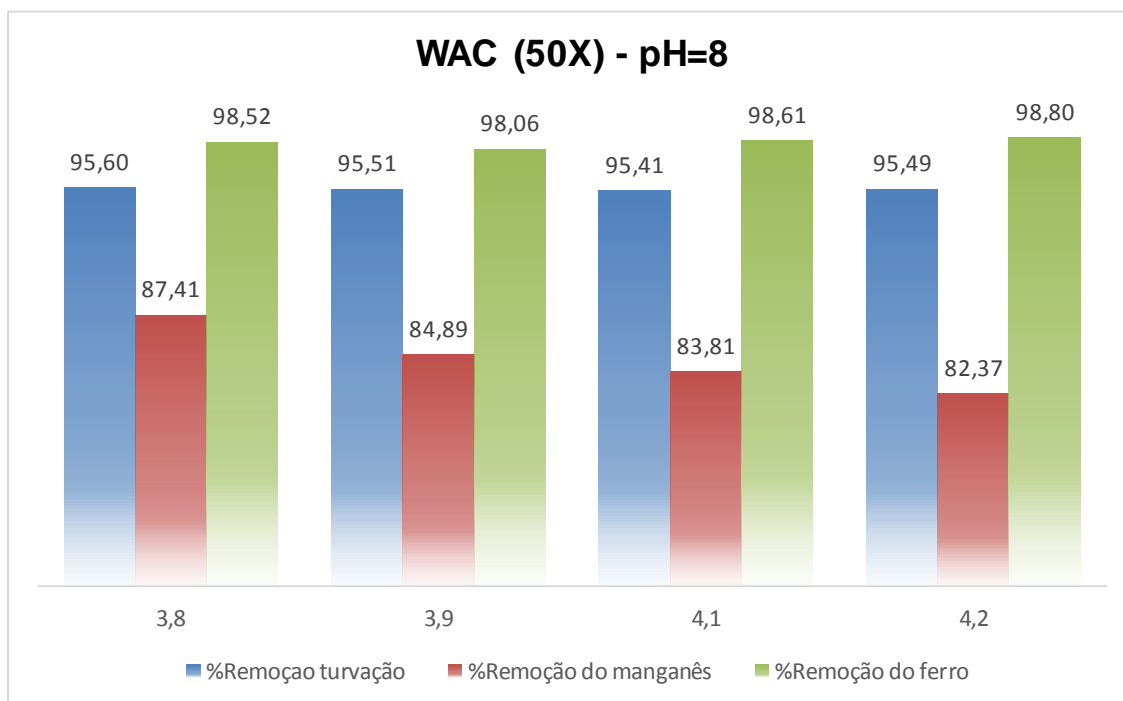


**Figura 68 - Valores de turvação para os ensaios de WAC (50X) com ajuste de pH para 8,0**

Ajustando a taxa de tratamento, com base na última representação gráfica, para 3,8, 3,9, 4,1 e 4,2 ml de coagulante para 1 litro de amostra, surgiram as seguintes figuras.



**Figura 69 - Valores de turvação e concentração de manganês, ferro e alumínio para os ensaios de WAC (50X) com ajuste de pH para 8,0**



**Figura 70 - Remoção da turvação, manganês e ferro para os ensaios de WAC (50X) com ajuste de pH para 8,0**

Com as representações gráficas, verifica-se que o ferro e o alumínio cumprem os valores paramétricos em todos os ensaios.

Em suma, para o coagulante WAC, para uma diluição de 50 vezes, o pH ótimo é de 7,5, uma vez que remove o manganês e todos os outros parâmetros estudados, com uma taxa de tratamento de 4,2 ml de coagulante por cada litro de amostra de água clorada, apresentando o valor de turvação de 0,515 UNT e uma concentração de alumínio de 0,054mg/l.

Por fim, a Tabela 6 representa os melhores resultados para cada reagente estudado, assim como o preço de venda aproximado de cada um.

**Tabela 6 – Melhores resultados obtidos para cada reagente e preço de venda**

Reagente	Preço de venda (€/ton)	Volume (ml/litro de amostra)	pH	Turvação (UNT)	Alumínio (mg/l)
Sulfato de Alumínio	170	2,4	7,5	0,528	0,069
WAC AB	250	4,3	8,0	0,621	0,096
WAC	220	4,2	7,5	0,515	0,054

É necessário ter em atenção que os resultados obtidos são válidos para as características da água no dia em que se efetuaram os ensaios. Deveria ser realizado um maior número de ensaios, nomeadamente noutras épocas do ano, em que as características da água são alteradas.

# 5

## Capítulo

### 5.CONCLUSÃO

No estágio realizaram-se vários ensaios em *jar test* utilizando como coagulante o Sulfato de Alumínio, o WAC AB e o WAC (igual ao coagulante utilizado na ETA – Kemira PAX XL-10). O objetivo destes ensaios constituiu em determinar a taxa de tratamento ótima na remoção da turvação, com o mínimo de quantidade de alumínio na água tratada. Foi tido em conta o pH pois este parâmetro afeta o processo de coagulação e floculação.

O primeiro coagulante testado foi o Sulfato de Alumínio. Analisando os resultados relativos ao mesmo e para uma diluição de 50 vezes, concluiu-se que para o pH inicial da amostra, a turvação final e o alumínio na água tratada eram altos. Nos ensaios onde houve ajuste de pH para 7,5 e 8,0, a remoção da turvação foi notável e o teor de alumínio era aceitável. Em relação a parâmetros essenciais de ferro e manganês, com o objetivo reduzir, de modo a cumprir os valores paramétricos legais, apenas com pH ajustado para 7,5 é que se obteve os resultados ideais. Os melhores resultados obtidos foram para um pH de 7,5 e uma taxa de tratamento de 2,4 ml de coagulante por cada litro de amostra de água clorada, apresentando o valor de turvação de 0,528 UNT e uma concentração de alumínio de 0,069 mg/l. Apesar dos bons resultados obtidos, o Sulfato de Alumínio, tem como desvantagem aumentar o volume da lama resultante do processo, elevando o seu custo da desidratação.

Para o segundo coagulante, WAC AB, diluído 50 vezes, observou-se que para o pH inicial da amostra, a turvação resultante foi alta e na maioria dos ensaios o alumínio era aceitável. Ao ajustar o pH para 7,5 e 8,0, a remoção da turvação foi maior e todos os ensaios cumpriram o valor paramétrico legal de alumínio. Analisando a



remoção de ferro e manganês, e apesar de se verificar altas percentagens de remoção, em alguns ensaios não se obteve valores de cumprimento da legislação em vigor. Assim, o pH para obtenção de melhores resultados foi de 8,0, com uma taxa de tratamento de 4,3 ml de coagulante por cada litro de amostra de água clorada, apresentando o valor de turvação de 0,621 UNT e uma concentração de alumínio de 0,096mg/l.

Em relação ao coagulante WAC, de igual forma aos outros coagulantes testados, diluído 50 vezes, os ensaios efetuados com o pH da amostra colhida resultaram valores de turvação elevados, tendo em conta o esperado. Com ajuste de pH para 7,5 e 8,0 a remoção da turvação foi maior, quase na totalidade inferior a 1 UNT e a concentração de alumínio foi aceite em todos os ensaios. Os resultados de ferro e manganês, na maioria dos ensaios, cumpriu os valores paramétricos. Assim, o pH ótimo é de 7,5, com uma taxa de tratamento ótima de 4,2 ml de coagulante por cada litro de amostra de água clorada, apresentando o valor de turvação de 0,515 UNT e uma concentração de alumínio igual a 0,054mg/l.

O prazo de armazenamento de todos os coagulantes testados é no máximo um ano, e sabe-se da prática que os polímeros, como o WAC ou WAC AB, vão perdendo a sua atividade. Em termos de custo, o coagulante mais dispendioso é o WAC AB e o mais acessível é o Sulfato de Alumínio. Mas como referido anteriormente, ao custo do reagente de Sulfato de Alumínio terá de se somar os custos adicionais da desidratação de lamas.

Este trabalho permitiu concluir que, de acordo com os ensaios realizados, o coagulante que apresentou melhores resultados em termos de qualidade da água, e portanto o mais adequado para o processo de coagulação-floculação no tratamento da água na ETA de Cancelas, é o WAC (semelhante ao utilizado atualmente), com os resultados de turvação e alumínio mais baixos (Tabela 6 do capítulo anterior). Acresce ainda, tratar-se de um reagente com um custo razoável face aos resultados obtidos.

## **5.1 Perspetivas de Desenvolvimento de Trabalhos Futuros**

Durante o desenvolvimento deste trabalho, foram identificados alguns aspetos que merecem a atenção, no sentido de melhorar o estudo realizado:

- Testar a água bruta proveniente da albufeira da barragem da Louçainha II, uma vez que a água utilizada era semelhante, e os resultados não vão ser exatamente iguais;

- Realizar ensaios de confirmação dos resultados obtidos no desenvolvimento deste trabalho, de modo a confirmar a repetibilidade de resultados;
- Avaliar a interferência no processo de coagulação-floculação de diferentes dosagens de cloro na etapa de pré-oxidação;
- Avaliar vários cenários de qualidade da água, de modo a conseguir encontrar uma relação qualidade vs dosagem de coagulante.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] – Alves, C., **Tratamento de Águas de Abastecimento**, 3ª edição, Editora Publindústria, Porto, 2010
- [2] – Perlman, Howard. USGS. Science for a Changing World. **The USGS Water Science School**. [Em linha]. USA. [Consult. abril 2014]. Disponível em <http://water.usgs.gov/edu>
- [3] - World Health Organization, **Guidelines for drinking-water quality** (4th ed.). WHO, Genève, 2011. ISBN 978 92 4 154815 1
- [4] - Brito, A., Oliveira, J. e Peixoto, J., **Tratamento de Água para Consumo Humano e Uso Industrial : Elementos Teórico-práticos**, 2ªedição, Publindústria, Porto, 2014. ISBN 978-989-98896-0-6
- [5] - Decreto-Lei nº 306/2007 de 27 de agosto. **Diário da República nº 164/2007 – Série I DE 2007-08-27**. Ministério do ambiente, do ordenamento do território e do desenvolvimento regional, Lisboa.
- [6] - Decreto-Lei nº 152/2017 de 7 de dezembro. **Diário da República n.º 235/2017, Série I de 2017-12-07**. Ministério do ambiente, do ordenamento do território e do desenvolvimento regional, Lisboa.
- [7] – Richter, C. A. e de Azevedo Netto, J. M.,**Tratamento de Água – Tecnologia actualizada**, 3ª impressão, Editora Edgard Blücher LTDA, Brasil, 2000.
- [8] – Pavanelli G., **Eficiência de Diferentes Tipos de Coagulantes, Flocculação e Sedimentação de água com cor ou turbidez elevada**, Dissertação ( Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2001.
- [9] – PLT SCIENTIFIC SDN BHD, **Portable Flocculator –FP4**, Malaysia [Consult. abril 2018]. Disponível em: <https://www.pltscientific.com/catalog/portable-flocculator--fp4>
- [10] – Suez, **Flotador de Ar dissolvido**, São Paulo Consult. abril 2018]. Disponível em: <https://www.tratamentodeagua.com.br/produto/seadaf-flotador-por-ar-dissolvido/>

- [11] - Pegoraro, D. S., **Floculação: Poliacrilamidas aceleram remoção de sólidos suspensos dos efluentes tratados**, São Paulo [Consult. abril 2018]. Disponível em: <https://www.petroleoenergia.com.br/floculacao-poliacrilamidas-aceleram-remocao-de-solidos-suspensos-dos-efluentes-tratados/>
- [12] – Carvalho N. V., **Tratamento de águas e efluentes**, Brasil [Consult. abril 2018]. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/neoson/aula-06-tecnicas-de-tratamento-parte-2-0109>
- [13] - AQUA BRASIL EQUIPAMENTO LTDA, **Leitos Filtrantes**, São Caetano do Sul [Consult. abril 2018]. Disponível em: <http://www.aquabrasilequipamentos.com.br/empresa>
- [14] – ASTM D2035-08, **Standard Practice for Coagulation-Flocculation Jar Test of Water**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2008.
- [15] – Laboratório da Águas do Centro Litoral, **Instrução Técnica nº 25, Revisão 02 – pH (POTENCIOMETRIA)**, Coimbra, 2018.
- [16] – Laboratório da Águas do Centro Litoral, **Instrução Técnica nº 32, Revisão 02 – TURVAÇÃO (Nefelometria)**, Coimbra, 2018.
- [17] – Laboratório da Águas do Centro Litoral, **Instrução Técnica nº 11, Revisão 02 – FERRO & FERRO DISSOLVIDO (Fotometria)**, Coimbra, 2018.
- [18] – Laboratório da Águas do Centro Litoral, **Instrução Técnica nº 12, Revisão 02 – MANGANÊS (Fotometria)**, Coimbra, 2018.
- [19] – Laboratório da Águas do Centro Litoral, **Instrução Técnica nº 111, Revisão 01 – ALUMÍNIO (Fotometria)**, Coimbra, 2018.
- [20] – Águas do Centro Litoral [Consult. maio 2018]. Disponível em: <http://www.aguasdocentrolitoral.pt/>
- [21] – Efaced, Engenharia e Sistemas, S.A., **Manual de Funcionamento e Manutenção da ETA de Cancelas**, Volume I, Revisão 1, Coimbra, 2012.
- [22] – Águas Do Mondego S.A., **Manual de Operação da ETA de Cancelas**, Coimbra, 2015.

[23] - Decreto-Lei nº 236/98 de 1 de agosto, **Diário da República n.º 176/1998, Série I-A de 1998-08-01**. Ministério do ambiente, do ordenamento do território e do desenvolvimento regional, Lisboa.

[24] – Figueiredo C., Oliveira I., Serra Pacheco T., **Estação de Tratamento de Água de Cancelas – Processos Químicos**, Universidade de Coimbra, 2017.

[25] – **Diretiva 98/83/CE**, do Conselho da União Europeia, de 3 de novembro, Jornal Oficial das Comunidades Europeias, L330, 1998.

[26] – **Diretiva (UE) 2015/1787**, do Comissão Europeia, de 6 de outubro, Jornal Oficial das Comunidades Europeias, L260, 2015.

# **A N N E X O S**

## ANEXOS

### ANEXO I – Ficha de Dados de Segurança

#### A.1 – Ficha de Dados de Segurança: KEMIRA ALS – LC



**FICHA DE DADOS DE SEGURANÇA**  
**KEMIRA ALS- LC**  
**(SULFATO DE ALUMÍNIO**  
**LÍQUIDO)**

FS TAE 110-01 Pag.1/13 Ed.07 Data: 13/01/2016
--

#### SECÇÃO 1: IDENTIFICAÇÃO DA SUBSTÂNCIA / MISTURA E DA SOCIEDADE / EMPRESA

##### 1.1 Identificador do produto

Nome do produto: KEMIRA ALS -LC (Solução de sulfato de alumínio 8,0 % a 8,4%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ )

Tipo de produto: Mistura

##### 1.2 Utilizações identificadas relevantes da substância ou mistura e utilizações desaconselhadas

Utilizações relevantes identificadas (ver os correspondentes Cenários de Exposição (ES) em anexo):

Utilização industrial, formulação e distribuição

Utilização industrial, uso de substância em síntese como um processo químico e como um intermédio.

Utilização industrial, uso profissional, formulações de pulverização. Cenário de exposição disponível sob pedido.

Utilização industrial, uso profissional, formulações não para pulverização. Cenário de exposição disponível sob pedido.

Utilização industrial, uso profissional, tratamento químico da água, produtos tais como reguladores do pH, floculantes, precipitantes, agentes de neutralização.

Utilização industrial, uso profissional, produtos químicos de laboratório.

Principais aplicações: O produto é aplicado em tratamentos de águas e efluentes, retenção química e na fabricação de papel.

Utilizações desaconselhadas:

Utilizações distintas das indicadas nos cenários de exposição.

##### 1.3 Identificação do fornecedor da ficha de dados de segurança

Fornecedor: Quimitecnica.com - Comércio e Indústria Química, S.A.

Endereço: Rua 35, n.º 27 A - Parque Empresarial do Barreiro

Caixa Postal 5106 2831-904 Barreiro

Telefone: 21 206 9100

Fax: 21 206 9196

E-mail: [quimitecnica.com@quimitecnica.pt](mailto:quimitecnica.com@quimitecnica.pt)

#### 1.4 Número de telefone de emergência

Quimitécnica.com: 21 206 91 00 (9h00 às 18h00)

Telefone do Centro de Informação Anti-Venenos: 808 250 143 INEM: 112

## SECÇÃO 2: IDENTIFICAÇÃO DOS PERIGOS

### 2.1 Classificação da substância ou mistura

#### 2.1.1 Classificação segundo Regulamento (CE) n.º 1272/2008 (CLP)

Classe e categoria de perigo	Frases H
Lesões oculares graves, categoria 1 (Eye Dam. 1)	H318 - Provoca lesões oculares graves.
Substância corrosiva para os metais, categoria 1 (Met. Corr. 1)	H290 - Pode ser corrosivo para os metais.

#### 2.2 Elementos do rótulo segundo Regulamento CE 1272/2008 (CLP)

Componentes perigosos a figurar no rótulo: Sulfato de alumínio

Palavra sinal: **Perigo**

Pictogramas de perigo:



Advertências de perigo:

**H290** - Pode ser corrosivo para os metais.

**H318** - Provoca lesões oculares graves.

Recomendações de prudência:

**P261** - Evitar respirar os aerossóis.

**P264** - Lavar as mãos cuidadosamente após manuseamento.

**P280** - Usar luvas de protecção/vestuário de protecção/protecção ocular/protecção facial.

**P305+P351+P338** - SE ENTRAR EM CONTACTO COM OS OLHOS: enxaguar cuidadosamente com água durante vários minutos. Se usar lentes de contacto, retire-as, se tal lhe for possível. Continuar a enxaguar.



**P310** - Contacte imediatamente um CENTRO DE INFORMAÇÃO ANTIVENENOS ou um médico.

**P406** - Armazenar num recipiente resistente à corrosão com um revestimento interior resistente

### 2.3 Outros perigos

A mistura não cumpre os critérios de classificação como PBT nem mPmB.

Se inalado, este produto é irritante para as vias respiratórias.

Em caso de libertação no meio aquático, este produto tem efeitos nocivos dado que causa o abaixamento do pH.

## SECÇÃO 3: COMPOSIÇÃO / INFORMAÇÃO SOBRE OS COMPONENTES

### 3.1 Concentrações

Nome e fórmula química da substância	Número de Índice	Número CAS	Número CE/EINECS	Número de registo REACH	Concentração (%)
Sulfato de alumínio (Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> )	-	10043-01-3	233-135-0	01-2119531538-36-XXXX	20 -30 (p/p)

Natureza química: solução de sulfato de alumínio

### 3.2 Classificação dos componentes perigosos

#### 3.2.1. Classificação de acordo com o Regulamento (CE) n.º 1272/2008

Nome da substância	Classe e categoria de perigo	Frases H
Sulfato de alumínio	Lesões oculares graves, categoria 1 (Eye Dam. 1)	H318 - Provoca lesões oculares graves.

## SECÇÃO 4: PRIMEIROS SOCORROS

### 4.1 Descrição das medidas de primeiros socorros

#### 4.1.1 Inalação de nevoeiros

No caso de inalação de nevoeiros, transportar para uma área arejada e deixar repousar. Consultar um médico em caso de necessidade.



#### **4.1.2 Contacto com a pele**

Remover as roupas contaminadas. Lavar com água corrente e sabão. Consultar um médico em caso de irritação persistente.

#### **4.1.3 Contacto com os olhos**

Com as pálpebras abertas, lavar imediatamente com água corrente durante, pelo menos, 15 minutos. Consultar um médico.

#### **4.1.4 Ingestão**

Beber água abundantemente e não induzir vômito. Consultar um médico.

### **4.2 Sintomas e efeitos mais importantes, tanto agudos como retardados**

#### **4.2.1 Inalação**

Poderá surgir irritação nas vias respiratórias, caso exista inalação de nevoeiros.

#### **4.2.2 Contacto com a pele**

Pode causar irritação em contacto com a pele.

#### **4.2.3 Contacto com os olhos**

Pode causar queimaduras em contacto com os olhos.

#### **4.2.4 Ingestão**

No caso de ingestão, pode causar irritação do tracto gastrointestinal, associada a náuseas e vômitos.

### **4.3 Indicações sobre cuidados médicos urgentes e tratamentos especiais necessários**

Enxaguar com muita água. Consultar imediatamente um médico. Tratar sintomaticamente.

## **SECÇÃO 5: MEDIDAS DE COMBATE A INCÊNDIOS**

### **5.1 Meios de extinção**

O produto é incombustível. Utilizar os meios adequados às matérias em combustão.

### **5.2 Perigos especiais decorrentes da substância ou mistura**

Este produto decompõe-se acima dos 600 °C, com libertação de fumos tóxicos (SOx).



**5.3 Recomendações para o pessoal de combate a incêndios**

O pessoal de combate ao incêndio deve utilizar equipamento autónomo de respiração de pressão positiva e vestuário de protecção de combate a incêndios (capacete, casaco, calças, luvas e botas).

**SECÇÃO 6: MEDIDAS A TOMAR EM CASO DE FUGAS ACIDENTAIS**

**6.1. Precauções individuais, equipamento de protecção e procedimentos de emergência**

Assegurar a ventilação adequada. Evitar o contacto com o produto.

Utilizar o equipamento de protecção adequado. Ver secção 8.

**6.2 Precauções a nível ambiental**

Evitar a sua entrada nos esgotos ou nas águas de superfície.

**6.3. Métodos e materiais de confinamento e limpeza**

No caso de pequenos derrames, lavar com grande quantidade de água.

No caso de grandes derrames, recolher o produto ou absorver com terra ou areia e colocar os resíduos num recipiente adequado.

Se o derrame ocorrer na via pública, sinalizar o local e participar às Autoridades e Bombeiros.

**6.4. Remissão para outras secções**

Informações sobre o controlo da exposição/protecção individual e considerações relativas à eliminação encontram-se nas secções 8 e 13, respectivamente.

**SECÇÃO 7: MANUSEAMENTO E ARMAZENAGEM**

**7.1. Precauções para um manuseamento seguro**

As usuais no manuseamento de produtos químicos.

**7.2 Condições de armazenagem segura, incluindo eventuais incompatibilidades**

**Condições de armazenagem**

Armazenar o produto à temperatura ambiente.



**Materiais recomendados**

Equipamento em material resistente a ácidos: Poliéster - fibra de vidro, polietileno, polipropileno, aço revestido a ebonite.

**Estabilidade de armazenamento**

Aproximadamente 1 ano.

**7.3 Utilizações finais específicas**

Ver utilizações identificadas na subsecção 1.2.

**SECÇÃO 8: CONTROLO DA EXPOSIÇÃO/PROTECÇÃO INDIVIDUAL**

**8.1 Parâmetros de controlo**

**Limite de exposição:**

Valor Limite de Exposição (8 horas / dia - média ponderada): 2 mg/m<sup>3</sup>, expresso em Al  
*Conforme NP 1796*

*Estes limites aplicam-se apenas a nevoeiros (gotículas em suspensão no ar)*

**8.2 Controlo da exposição**

**8.2.1 Controlos técnicos adequados**

Assegurar ventilação adequada.

Equipamento de emergência colectivo: lava-olhos e chuveiros de emergência localizados nas proximidades da área de trabalho.

**8.2.2 Medidas de protecção individual, nomeadamente equipamentos de protecção individual**

**Protecção respiratória**

Utilizar máscara facial com cartucho P2 somente em caso de formação de nevoeiros ou de libertação de vapores. *(Nas condições normais de utilização do produto aquelas ocorrências são pouco prováveis)*

**Protecção das mãos**

Utilizar luvas de protecção de plástico ou borracha.



**Protecção dos olhos**

Utilizar óculos de protecção.

**Protecção da pele**

Avental ou fato de PVC impermeável e botas do mesmo material.

**Medidas de Higiene**

Não comer, beber ou fumar durante a utilização.

Tomar sempre banho após o trabalho.

**8.2.3 Controlo da exposição ambiental**

Respeitar a regulamentação sobre efluentes aquosos (Decreto – Lei 238/98).

VLE (valores limite de emissão)

pH a 20°C 6,0 a 9,0

Alumínio total: 10 mg/l Al

**SECÇÃO 9: PROPRIEDADE FÍSICAS E QUÍMICAS**

**9.1 Informações sobre propriedades físicas e químicas de base**

Aspecto: Líquido oleoso e denso

Odor: Inodoro

Ponto de ebulição: 100 - 120 °C

Ponto de fusão / ponto de congelação: - 10 °C (início de cristalização)

Ponto de inflamação: Não aplicável

pH: 3,8 (solução aquosa 1%)

Densidade relativa (a 20°C): 1,32 g/cm<sup>3</sup>

Temperatura de decomposição: 600 °C

Solubilidade em água: Completamente solúvel

Viscosidade: 18,6 mPa.s

**9.2 Outras informações**

Dados não disponíveis.





## **SECÇÃO 10: ESTABILIDADE E REACTIVIDADE**

### **10.1 Reactividade**

Pode ser corrosivo para os metais.

### **10.2 Estabilidade química**

Estável nas condições de armazenagem recomendadas (ver secção 7) por um período de aproximadamente um ano.

### **10.3 Possibilidade de reacções perigosas**

O contacto com certos metais (por exemplo alumínio, zinco) pode formar misturas de gases explosivas com o ar.

Reage com os cloritos, hipocloritos e sulfitos, originando gases tóxicos (SOx).

### **10.4 Condições a evitar**

Evitar temperaturas inferiores ao ponto de cristalização.

Evitar a armazenagem a altas temperaturas.

### **10.5 Materiais incompatíveis**

Evitar contacto com cloritos, hipocloritos, sulfitos, bases e metais, tais como alumínio, cobre, zinco e sua ligas.

Aço-Carbono e superfícies galvanizadas.

### **10.6 Produtos de decomposição perigosos**

Por decomposição térmica, acima dos 600 °C, pode igualmente libertar fumos tóxicos (SOx).

## **SECÇÃO 11: INFORMAÇÃO TOXICOLÓGICA**

### **11.1 Informações sobre os efeitos toxicológicos**

#### **Toxicidade aguda:**

DL<sub>50</sub> (via oral, rato): 6207 mg/kg

#### **Efeitos para a saúde:**

##### **Contacto com os olhos:**

Pode causar queimaduras



**Contacto com a pele:**

Irritante

**Ingestão:**

Irritante para o tracto gastrointestinal

**Inalação de nevoeiros:**

Irritante para o tracto respiratório, em caso de inalação de nevoeiros.

**Efeitos específicos:**

Corrosão/irritação cutânea: Irritante para a pele.

Lesões oculares graves/irritação ocular: Corrosivo para os olhos.

Sensibilização cutânea: Não sensibilizante.

Mutagenicidade em células germinativas: Não genotóxico.

Carcinogenicidade: Não se considera cancerígeno.

Toxicidade reprodutiva: Não há suspeitas de que é tóxico para a reprodução.

STOT-SE: Dados não disponíveis.

STOT-RE: Dados não disponíveis.

Perigo de aspiração: Dados não disponíveis.

## **SECÇÃO 12: INFORMAÇÃO ECOLÓGICA**

### **12.1 Toxicidade**

CL<sub>50</sub> (peixes: peixe mosquito) / 96 horas: 235 mg/litro de Al

### **12.2 Persistência e degradabilidade**

O alumínio tem uma certa facilidade em formar complexos e precipitar.

### **12.3 Potencial de bioacumulação**

Não aplicável (produto inorgânico)-



#### **12.4 Mobilidade no solo**

Absorção/dessorção: Dispersível no meio aquático, devido à sua elevada solubilidade. Facilmente dispersível no solo.

#### **12.5 Resultados da avaliação PBT e mPmB**

De acordo com o Anexo XIII do Regulamento (CE) n.º 1907/2006 (REACH), os critérios de classificação como PBT (persistente/bioacumulável/tóxica) e mPmB (muito persistente/muito bioacumulável) não são preenchidos.

#### **12.6 Outros efeitos adversos**

Não permitir a entrada nas águas superficiais, subterrâneas e nos esgotos.

O sulfato de alumínio não está listado no Regulamento (CE) n.º 1005/2009 relativo às substâncias que empobrecem a camada de ozono.

### **SECÇÃO 13: CONSIDERAÇÕES RELATIVAS À ELIMINAÇÃO**

#### **13.1 Métodos de tratamento de resíduos**

Evitar a dispersão do material derramado, a sua entrada na rede de esgotos ou cursos de água. Neutralizar com ácido inorgânico.

Deve-se limitar ou evitar a geração de resíduos sempre que possível. As embalagens vazias contendo restos do produto são consideradas resíduos perigosos. Os resíduos resultantes da utilização deste produto e as embalagens contaminadas deverão ser geridos de acordo com a legislação em vigor, nomeadamente em instalações de eliminação/valorização devidamente autorizadas para o efeito. A reciclagem deverá ser preferida relativamente à incineração ou deposição em aterro.

A gestão adequada dos resíduos deve ser realizada de acordo com as prescrições da Directiva n.º 2008/98/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de Novembro, relativa aos resíduos.

Os resíduos devem ser identificados de acordo com os requisitos previstos na Portaria n.º 209/2004, de 3 de Março, que estabelece a Lista Europeia dos Resíduos.



#### **14. INFORMAÇÕES RELATIVAS AO TRANSPORTE**

Este produto é abrangido pelos regulamentos aplicáveis ao transporte de mercadorias perigosas.

##### **14.1 Número ONU**

Nº ONU : 3264

##### **14.2 Designação oficial de transporte da ONU**

UN 3264 LÍQUIDO INORGÂNICO CORROSIVO, ÁCIDO, N.S.A. (contendo sulfato de alumínio), 8, III, (E)

##### **14.3 Classes de perigo para efeitos de transporte**

Classe(s): 8

##### **14.4 Grupo de embalagem.**

Grupo de embalagem: III

##### **14.5 Perigos para o ambiente**

Poluente marinho: Não

##### **14.6 Precauções especiais para o utilizador**

Etiquetas: 8

Marca: Nenhuma

Número de perigo: 80

Código de restrição em túneis: E



##### **14.7 Transporte a granel em conformidade com o anexo II da Convenção Marpol 73/78 e o Código IBC**

Dados não disponíveis.

O produto é classificado como mercadoria perigosa para transporte porque é corrosivo para os metais.



## **SECÇÃO 15: INFORMAÇÃO SOBRE REGULAMENTAÇÃO**

### **15.1 Regulamentação / legislação específica para a substância ou mistura em matéria de saúde, segurança e ambiente**

**Regulamento (CE) n.º 1907/2006** relativo ao registo, avaliação, autorização e restrição de substâncias químicas (REACH)

Substância que suscita elevada preocupação (SVHC): Não

Substância sujeita a autorização: Não

**Regulamento (CE) n.º 1272/2008** relativo à classificação, rotulagem e embalagem de substâncias e misturas (CLP)

**NP 1796** relativa aos Valores Limite de Exposição (VLE) profissional a agentes químicos

**Decreto-Lei n.º 24/2012** que consolida as prescrições mínimas em matéria de protecção dos trabalhadores contra os riscos para a segurança e a saúde devido à exposição a agentes químicos no trabalho

**Regulamento (UE) n.º 649/2012** relativo à exportação e importação de produtos químicos perigosos

**Decreto-Lei n.º 150/2015** que estabelece o regime de prevenção de acidentes graves que envolvam substâncias perigosas e a limitação das suas consequências para o homem e o ambiente

Categoria SEVESO/substância designada: Não

**Directiva n.º 2008/98/CE**, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de Novembro, relativa aos resíduos.

**Portaria n.º 209/2004** que estabelece a Lista Europeia dos Resíduos

**Decreto-Lei n.º 236/98** que estabelece normas, critérios e objectivos de qualidade com a finalidade de proteger o meio aquático e melhorar a qualidade das águas em função dos seus principais usos.



**Regulamento (CE) n.º 1005/2009** relativo às substâncias que empobrecem a camada de ozono

Substância não listada

#### **15.2 Avaliação de segurança química**

Foi efectuada uma avaliação da segurança química da substância.

### **SECÇÃO 16: OUTRAS INFORMAÇÕES**

*Ficha de Segurança conforme Regulamento (UE) n.º 830/2015.*

Todas as informações constantes desta ficha estão baseadas nos conhecimentos actuais.

A Quimitécnica.com não aceita qualquer responsabilidade pelo uso que possa ser feito destas informações.

A presente ficha de segurança deve estar sempre ao alcance das pessoas que dela possam necessitar.

*Edição 02: Motivo da actualização - Revisão Geral*

*Edição 03: Motivo da actualização - Adaptação ao Regulamento (CE) n.º 1907/2006*

*Edição 04: Motivo da actualização - Alteração da classificação para transporte*

*Edição 05: Motivo da actualização - Alteração de 7.2 – materiais recomendados (retirado o Inox AISI 316)*

*Edição 06: Motivo da actualização - Adaptação ao Regulamento (CE) n.º 1272/2008. Alteração do nome comercial*

*Edição 07: Motivo da actualização – Alteração da codificação da ficha de dados de segurança. Adição da palavra Secção. Alteração das secções 2, 3, 9, 11, 14, 15 e 16*

Literatura: Dossier de registo REACH da substância

Ficha de dados de segurança do fornecedor

## A.2 - Ficha de Dados de Segurança: WAC – AB



Data de Emissão: 20/11/2014

### FICHA DE DADOS DE SEGURANÇA

Conforme o Regulamento (CE) No. 1907/2006 e Regulamento (UE) nº 453/2010

#### 1. IDENTIFICAÇÃO DO PRODUTO E DA EMPRESA

1.1 Nome do Produto WAC-AB

Número de Registo REACH 01-2119531540-51

#### 1.2 Utilizações identificadas e utilizações desaconselhadas Utilizações da substância ou mistura

Produto químico para o tratamento de água.

ES2. Uso industrial, formulação e distribuição.

ES3. Uso industrial, uso da substância em sínteses como produto químico industrial e como produto intermédio.

ES4. Uso industrial, uso profissional, formulações em aerossóis.

ES5. Uso industrial, uso profissional, formulações não em aerossóis.

ES6. Uso industrial, uso profissional, produto químico para tratamento de água, produtos reguladores de pH, agentes floculantes, precipitantes e neutralizantes.

ES7. Uso industrial, uso profissional, produtos químicos para laboratório.

#### Utilizações desaconselhadas

Não existem.

#### 1.3 Identificação da Empresa

Quimitejo – Produtos Químicos, Lda.

Av. D. João II lote 1.16.05 7ºB

1990-083 Lisboa

Tel: 218 922 710

Fax: 218 922 715

Email contacto: monica@quimitejo.com

1.4 Telefones de Emergência Número Nacional de urgência: 112

Centro informação Anti-Venenos: 808 250 143

#### 2. IDENTIFICAÇÃO DOS PERIGOS

##### 2.1 Classificação da substância ou mistura

Classificação de acordo com a Directiva 67/548/CEE e Directiva 1999/45/EC

Xi: R36/38 – Irritante para os olhos e pele

Classificação de acordo com o Regulamento (UE) 1272/2008

Perigos	Categoria
Provoca lesões oculares graves	Categoria 1
Pode ser corrosivo para os metais	Categoria 1

**FICHA DE DADOS DE SEGURANÇA**  
Conforme o Regulamento (CE) No. 1907/2006 e Regulamento (UE) nº 453/2010

**2.2 Elementos do rótulo**

Rotulagem de acordo com o Regulamento nº 1272/2008

Pictogramas de perigo



**Palavra Sinal** Perigo

**Advertências de Perigo**

H318 Provoca lesões oculares graves  
H290 Pode ser corrosivo para os metais

**Recomendações de prudência**

P264 Lavar as mãos cuidadosamente após manuseamento.

**Prevenção**

P261 Evitar respirar o aerossol  
P280 Usar luvas de protecção/vestuário de protecção/protecção ocular/  
protecção facial.

**Intervenção**

P305+P351+P338 EM CASO DE CONTACTO COM OS OLHOS: Enxaguar com água cuidadosamente durante vários minutos. Se usar lentes de contacto, retirar se for possível. Continuar a enxaguar.  
P310 Ligar imediatamente a um Centro informação Anti-Venenos ou para um médico.

**Armazenamento**

P406 Armazenar num recipiente resistente à corrosão, com revestimento interior resistente.

**2.3 Outros perigos**

Pode-se libertar quantidades pequenas de Cloreto de Hidrogénio a temperaturas superiores à de ebulição.

**Efeitos potenciais para o meio ambiente**

Pode baixar o pH da água e por isso ser prejudicial a organismos aquáticos.

**3. COMPOSIÇÃO/INFORMAÇÃO SOBRE OS COMPONENTES**

**3.1 Substâncias**

Natureza química da substância Solução aquosa

Descrição Química	Nº CAS	Nº CE	Percentagem %
Polihidroxíclorosulfato de alumínio	39290-78-3	254-400-7	14-18

**FICHA DE DADOS DE SEGURANÇA**  
Conforme o Regulamento (CE) No. 1907/2006 e Regulamento (UE) nº 453/2010

**4. MEDIDAS DE PRIMEIROS SOCORROS**

**4.1 Descrição dos primeiros auxílios**

<b>Recomendação geral</b>	Retirar imediatamente todo o vestuário contaminado (debaixo do chuveiro).
<b>Inalação</b>	Transportar o sinistrado para o local arejado. Consultar imediatamente um médico.
<b>Contacto com a pele</b>	Lavar imediata e abundantemente com água.
<b>Contacto com os olhos</b>	Com as pálpebras abertas, lavar imediata e abundantemente com água (mínimo 15 minutos). Consultar um médico.
<b>Ingestão</b>	Lavar a boca, beber grandes quantidades de água. Não provocar o vômito. Consultar um médico se os sintomas persistirem.

**4.2 Principais sintomas e efeitos, agudos e retardados**

Efeitos corrosivos, pode lesionar os olhos de forma irreversível.

**5. MEDIDAS DE COMBATE A INCÊNDIOS**

**5.1 Meios de Extinção**

Não combustível.

Usar medidas de extinção que sejam adequadas às circunstâncias do local e arredores.

**Meios de extinção não apropriados**

Não conhecido.

**5.2 Perigos Específicos derivados da substância ou mistura**

A alta temperatura pode haver decomposição e pode haver formação de pequenas quantidades de cloreto de hidrogénio.

Decomposição térmica do produto: Ácido Clorídrico (HCL) e Óxidos de Enxofre (SOx)

**5.3 Medidas especiais de protecção para os bombeiros**

A exposição aos produtos de decomposição pode ser perigosa para a saúde.

Em caso de fogo proteja-se com um equipamento respiratório autónomo.

**6. MEDIDAS A TOMAR EM CASO DE FUGAS ACIDENTAIS**

**6.1 Precauções individuais, equipamento de protecção e procedimentos de emergência**

Equipamento de protecção individual, ver secção 8.

**6.2 Precauções ambientais**

Controlar o derrame usando material absorvente inerte (areia, terra).

Evitar a contaminação da água do subsolo.

O produto deve ser eliminado segundo os regulamentos locais e nacionais.



**FICHA DE DADOS DE SEGURANÇA**  
Conforme o Regulamento (CE) No. 1907/2006 e Regulamento (UE) nº 453/2010

**6.3 Métodos e material de contenção e limpeza**

Diluir os resíduos com água e depois neutralizar com cal até que fique uma massa sólida.

Recolher com uma pá.

O produto deve ser eliminado segundo os regulamentos locais e nacionais.

**7. MANUSEAMENTO E ARMAZENAGEM**

**7.1 Manuseamento:**

Medidas Técnicas: A elevada concentração de vapores/nevoeiro:  
Prever ventilação e evacuação adequadas ao nível dos equipamentos.  
Prever chuveiros e lava-olhos.  
Prever postos de água.

Recomendação de segurança: As usuais para manuseamento de produtos químicos.

**7.2 Armazenagem:**

Medidas Técnicas: Guardar o recipiente hermeticamente fechado em lugar seco e bem ventilado.

Condições de armazenagem: Evitar temperaturas altas devido a temperaturas muito baixas ( 5 e 35 °C)  
Prever uma bacia de retenção e chão impermeável resistente à corrosão com escoamento para uma fossa de neutralização.

**7.3 Material de embalagem:**

Aconselhados: Plástico (PE;PP;PVC) Poliéster reforçado com fibra de vidro, Aço revestido com borracha  
Tonéis metálicos revestidos interiormente com resina epóxi.

A evitar: Cloritos, Hipoclorito, Sulfitos e Ferro.

Estabilidade em armazém: Mínimo de 12 meses

**8. CONTROLO DE EXPOSIÇÃO/PROTECÇÃO INDIVIDUAL**

**8.1 Valores limites de exposição**

**Polihidroxiclorosulfato de Alumínio**

TWA = 2 mg/m<sup>3</sup> Calculado como Al

DNEL

Polihidroxiclorosulfato de Alumínio

Uso final:

Trabalhadores  
Via de exposição: Inalação  
Efeitos potenciais sobre a saúde: efeitos sistémicos por exposição a longo prazo.  
Valor: 20,2 mg/m<sup>3</sup>

**FICHA DE DADOS DE SEGURANÇA**  
Conforme o Regulamento (CE) No. 1907/2006 e Regulamento (UE) nº 453/2010

PNEC  
Polihidroxiclorosulfato de Alumínio      STP  
Valor: 20 mg/l  
Calculado como Al

**8.2 Controlo da exposição**

**8.2.1 Controlo Técnico adequado**

Manusear com as precauções industriais adequadas e respeitar as práticas de segurança.  
Deve haver no local de trabalho duche e lava-olhos.

**8.2.2 Equipamento de protecção individual:**

**Protecção das mãos:** Luvas, cuja grossura não poderá ser inferior a 1,2 mm

**Protecção dos olhos:** Óculos de segurança

**Protecção da pele:** Fato de protecção. Botas de segurança.

**Protecção respiratória:** O manuseamento normal não necessita de protecção, se formar névoa ao limpar contentores deve-se utilizar máscara com filtro P2

**Medidas de higiene específicas:** Evitar o contacto com a pele e olhos.

**9. PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS**

Aspecto:	Líquido amarelo claro
Odor:	Não significativo
pH:	2,85 – 3,45
Ponto de Cristalização:	- 15.°C
Ponto de ebulição:	105 - 115 °C
Ponto de Inflamação:	Não inflamável De acordo com a coluna 2 do anexo VII do Regulamento REACH, não é necessário realizar o estudo
Propriedades explosivas	Não aplicável
Densidade (25°C):	1,18 – 1,22 g/cm <sup>3</sup>
Solubilidade:	Totalmente solúvel em água a 20 °C
Coeficiente de repartição n- octano/água:	Não aplicável, composto inorgânico. De acordo com a coluna 2 do anexo VII do Regulamento REACH, não é necessário realizar o estudo
Temperatura de decomposição:	> 200 °C
Viscosidade	< 15 mPa.s (25°C)

**10. ESTABILIDADE E REACTIVIDADE**

**10.1 Reactividade**

As bases originam reacções exotérmicas.  
Pode ser corrosivo para os metais.



**FICHA DE DADOS DE SEGURANÇA**  
**Conforme o Regulamento (CE) No. 1907/2006 e Regulamento (UE) nº 453/2010**

**10.2 Estabilidade química**

Estável em condições normais.

**10.3 Possibilidade de reacções perigosas**

O contacto com certos metais pode formar gás de hidrogénio, o qual pode formar misturas explosivas de gases com o ar.

**10.4 Condições a evitar**

Evitar que o produto congele.

**10.5 Materiais incompatíveis**

Cloritos, hipocloritos, sulfitos, facetas galvanizadas, ferro.

**10.6 Produtos de decomposição perigosos**

Decomposição térmica do produto:

Ácido Clorídrico (HCl)

Óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>)

Decomposição térmica: > 200°C

---

**11. INFORMAÇÕES TOXICOLÓGICAS**

**11.1 Toxicidade Aguda**

**Polihidroxiclorsulfato de Alumínio**

DL<sub>50</sub>/Oral/rato: > 2000 mg / kg

CL<sub>50</sub>/Inalação/4h/rato: > 5 mg/l

DL<sub>50</sub>/Cutâneo/rato/machos e fêmeas: > 2000 mg / kg

**Irritação e corrosão**

**Polihidroxiclorsulfato de Alumínio**

Pele: coelho/OECD TG 404: Nenhum efeito irritante

Olhos: coelho/72h/OECD TG 405: Não irrita os olhos

**Sensibilização**

**Polihidroxiclorsulfato de Alumínio**

Coelho das índias/OECD TG 406

Observações: Extrapolação Nº CAS 12042-91-0. Não sensibilizante.

**Toxicidade a Longo Prazo**

**Polihidroxiclorsulfato de Alumínio**

Toxicidade por doses repetidas:

Oral/rato/fêmea/6 semanas/OECD TG 452:NOAEL: 3.225 mg/kg

Observações: de peso corporal/dia Extrapolação (analogia) Nº CAS 31142-56-0

Oral/rato:

NOAEL: 200 mg/kg

Observações: de peso corporal/dia Extrapolação (analogia) Nº CAS 1327-41-9

**FICHA DE DADOS DE SEGURANÇA**  
**Conforme o Regulamento (CE) No. 1907/2006 e Regulamento (UE) nº 453/2010**

**Cancerigenocidade**

Não classificado como cancerígeno.

**Mutagenicidade**

Mutagêneses (ensaio de mutação revertida na Salmonella typhimurium)/Prova AMES/OECD TG 471:

Resultado: negativo

Ativação metabólica: com e sem

In vitro células de mamíferos/prova de micronúcleos/OECD TG 487:

Resultado: negativo

Ativação metabólica: com e sem

Observações: Extrapolação (analogia) Nº CAS 1327-41-9

Estudo in vitro da mutação génica em células de mamíferos/Linfoma/OECD TG 476:

Resultado: negativo

Ativação metabólica: com e sem

Observações: Extrapolação (analogia) Nº CAS 1327-41-9

**Toxicidade para a Reprodução**

Oral/rato/fêmea/efeitos reprodutivos/OECD TG 452:

NOAEL: 3.225 mg/kg

NOAEL F1:

Observações: Extrapolação (analogia) Nº CAS 31142-56-0

Nenhum efeito conhecido.

Oral/rato/machos e fêmeas/prova de investigação/OECD TG 422:

NOAEL: 1.000 mg/kg

NOAEL F1:

Observações: Extrapolação (analogia) 1327-41-9

Nenhum efeito conhecido

Não classificado como tóxico para a reprodução.

**Teratogenicidade**

Oral/rato/OECD TG 452:

NOAEL: 1.075 mg/kg

Extrapolação (analogia). Não apresenta efeitos mutagénicos ou teratogénicos nos animais ensaiados. Nº CAS 31142-56-0.

**Experiência humana**

**Inalação**

A inalação pode provocar tosse e dificuldade a respirar.

**Contacto com a pele**

O contacto repetido ou prolongado com a pele pode causar pele seca e irritação.

**Contacto com os olhos**

O contacto com os olhos causa dor aguda e fluxo de lágrimas.

**Ingestão**

A ingestão pode provocar náuseas, irritação da boca, esófago e estomago.

**FICHA DE DADOS DE SEGURANÇA**

Conforme o Regulamento (CE) No. 1907/2006 e Regulamento (UE) nº 453/2010

**12. INFORMAÇÕES ECOLÓGICAS****12.1 Efeitos Toxicológicos****Toxicidade aquática**

Este produto não é considerado perigoso para o ambiente. Em concentrações que são comuns na natureza e a valores de pH aproximadamente neutros, os sais de alumínio não são perigosos para os peixes. Dentro de um intervalo aproximado de pH entre 5-5.5, os íons de alumínio podem ser prejudiciais para as espécies do salmão. Os sais de alumínio não devem ser libertados nos rios e lagos, de forma descontrolada, assim como as variações de pH entre 5-5.5 devem ser evitadas.

**Polihidroxíclicosulfato de alumínio**CL<sub>50</sub>/96h/Danio rerio/OECD TG 203: > 1.000 mg/l

Observações: Extrapolação (analogia), N° CAS 1327-41-9

NOEC/Danio rerio/OECD TG 203: &gt; 1.000 mg/l

Observações: Extrapolação (analogia), N° CAS 1327-41-9

CE<sub>50</sub>/48h/Daphnia magna (Pulga de mar grande)/OECD TG 202: 98 mg/l

Observações (analogia), N° CAS 1327-41-9

NOEC/Daphnia magna (Pulga de mar grande)/OECD TG 202: 40 mg/l

Observações: Extrapolação (analogia), N° CAS 1327-41-9/72h

Algas: os sais de alumínio são responsáveis pelo incremento de fósforo, e consequentemente, pelo aumento da quantidade de algas.

**Toxicidade para outros organismos**

Sem dados disponíveis.

---

**12.2 Persistência e degradabilidade**

Os métodos para a determinação da biodegradabilidade não é aplicável para substâncias inorgânicas.

**12.3 Potencial de bioacumulação**

Não é esperado que se bioacumule.

Coeficiente de repartição n-octanol/água: não aplicável, composto inorgânico; de acordo com a coluna 2, do anexo VII do Regulamento REACH, não é necessário fazer o estudo.

**Polihidroxíclicosulfato de alumínio**

Não é esperado que se bioacumule.

Coeficiente de repartição n-octanol/água: não aplicável, composto inorgânico.

**12.4 Mobilidade no solo****Mobilidade**

Solubilidade em água: totalmente solúvel (20°C)

---

**12.5 Resultados da avaliação PBT e mPmB**

## FICHA DE DADOS DE SEGURANÇA

Conforme o Regulamento (CE) No. 1907/2006 e Regulamento (UE) nº 453/2010

Esta mistura não contém nenhuma substância considerada como persistente, bioacumulativa, nem tóxica (PBT).

Esta mistura não contém nenhuma substância considerada muito persistente, nem muito bioacumulável (mPmB)

### 12.6 Outros efeitos adversos

Pode baixar o pH da água e consequentemente ser prejudicial para os organismos aquáticos.

## 13. CONSIDERAÇÕES SOBRE A ELIMINAÇÃO

### 13.1 Métodos para tratamento de resíduos

**Produto** Não classificado como resíduo perigoso. Deve ser eliminado conforme as normas locais e nacionais.

**Embalagens** As embalagens devem ser bem limpas e depois podem ser recicladas. Deve ser eliminado conforme as normas locais e nacionais.

## 14. INFORMAÇÕES RELATIVAS AO TRANSPORTE

### Transporte terrestre ADR/RID

UN	3264
Nome de expedição	Líquido Inorgânico Corrosivo, Ácido, N.S.A.
Classe	8
N.º Etiqueta(s)	8
Grupo de Embalagem	III
Códigos de restrição em túneis (E)	
N.º Perigo	80



**Designação para transporte:** UN 3264 Líquido Inorgânico Corrosivo, Ácido, N.S.A., 8, III (E)

### Transporte Fluvial ADN

UN	3264
Nome de expedição	Líquido Inorgânico Corrosivo, Ácido, N.S.A.
Classe	8
N.º Etiqueta(s)	8
Grupo de Embalagem	III



### Transporte marítimo IMDG

UN	3264
Nome de expedição	Líquido Inorgânico Corrosivo, Ácido, N.S.A.
Classe	8
N.º Etiqueta(s)	8
Grupo de Embalagem	III
Poluente Marinho:	Não



### Transporte aéreo ICAO/IATA

## FICHA DE DADOS DE SEGURANÇA

Conforme o Regulamento (CE) No. 1907/2006 e Regulamento (UE) nº 453/2010

UN	3264
Nome de expedição	Líquido Inorgânico Corrosivo, Ácido, N.S.A.
Classe	8
N.º Etiqueta(s)	8
Grupo de Embalagem	III



### 15. INFORMAÇÕES REGULAMENTARES

**Regulamentação e legislação em matéria de segurança, saúde e meio ambiente específica para a substância e misturas**

O produto está classificado e etiquetado de acordo com as directivas da EU e respectivas leis nacionais.

### 16. OUTRAS INFORMAÇÕES

**Texto integral das frases R, S, e Declarações H referidas nos pontos 2 e 3**

**R36 / R38** Irritante para os olhos e a pele

**H319** Provoca irritação ocular grave

**H315** Provoca irritação cutânea

**Anexo I – FDS\_WAC\_AB** - Lista dos cenários de exposição

Todas as informações constantes desta ficha estão baseadas nos conhecimentos actuais.

Histórico: Data Emissão:

Versão 1	13/03/2013
Versão 2	10/03/2014
Versão 3	12/06/2014
Versão 4	20/11/2014

As informações contidas nesta Ficha de Dados de Segurança, tem como base o melhor do nosso conhecimento sobre o produto e as leis em vigor na Comunidade Europeia, dado que as condições de trabalho do utilizador estão para além do nosso conhecimento e controlo. O produto não deve ser usado com outro propósito senão o especificado. É sempre exclusivamente da responsabilidade do utilizador seguir todos os passos necessários de maneira a cumprir o estabelecido nas leis e regras vigentes. As informações constantes desta Ficha de Dados de Segurança são apenas a descrição dos cuidados a ter para utilizar com segurança o nosso produto: não poderão em caso algum ser consideradas como uma garantia das propriedades do produto.

## A.3 - Ficha de Dados de Segurança: WAC



Página 1/7  
Edição 03.09.2013  
Anula e substitui versão de 18.03.2011

### FICHA DE DADOS DE SEGURANÇA

#### 1. IDENTIFICAÇÃO DO PRODUTO E DA EMPRESA

Nome Comercial: WAC  
N.º CE : 254-400-7  
N.º CAS: 32290-78-3  
N. Registo REACH: 01-2119531540-51

Utilizações previstas: Indústria de Tratamento de água, papel e cartão

Empresa: Quimitejo – Produtos Químicos, Lda.  
Av. D. João II lote 1.16.05 7ºB  
1990-083 Lisboa  
Tel: 218 922 2 10 Fax: 218 922 715

Email de contacto: monica@quimitejo.com

Contactos de Urgência: Número Nacional de urgência: 112  
Centro informação Antivenenos: 808 250 143

#### 2. IDENTIFICAÇÃO DOS PERIGOS

Classificação de acordo com a Directiva EU 67/548/CEE ou 1999/45/CE:



Pictograma de perigo

Termo de advertência : Irritante

Frase (s) – R36/38 Irritante para os olhos e pele

Frase (s) – S26 Em caso de contacto com os olhos, lavar imediatamente e abundantemente com água e consultar um medico

S28 Em caso de contacto com a pele, lavar imediatamente e abundantemente com água

S36/37/39 Usar vestuário, luvas e óculos adequados

Componentes determinantes de perigo:

39290 – 78 – 3 Sulfato Hidróxido Cloreto de Alumínio



**Outros perigos**

Conselho: Pode-se libertar quantidades pequenas de Cloreto de Hidrogénio a temperaturas superiores á de ebulição.

**Efeitos potenciais para o meio ambiente:** Pode baixar o pH da água e por isso ser prejudicial a organismos aquáticos

---

**3. COMPOSIÇÃO/INFORMAÇÃO SOBRE OS COMPONENTES****Misturas:**

**Nome químico da Substância:** Solução aquosa de Sulfato Hidróxido Cloreto de Alumínio

**Componentes:** N.º CE: 254-400-7  
CAS: 39290-78-3

**Concentração:** 10 - 25%

**Classificação:** Xi  
Directiva 67/548/CEE R 36/38

**Classificação:** Skin Irr.; Categoria 2 ; H315  
Regulamento 1272/2008 Eye Irr.– Categoria 2 H319

**Outros dados**

Solução aquosa

O texto completo das Frases R mencionadas nesta secção são indicadas no

Ponto16

---

**4. MEDIDAS DE PRIMEIROS SOCORROS**

**Recomendação geral:** Retirar imediatamente todo o vestuário contaminado (debaixo do chuveiro).

**Inalação:** Transportar o sinistrado para o local arejado.  
Aplicar oxigénio no caso de dificuldade respiratória e aplicar respiração artificial no caso de paragem respiratória.  
Consultar imediatamente um médico.

**Contacto com a pele:** Lavar imediata e abundantemente com água.  
Se possível, enxaguar com uma solução de ácido bórico 5%.  
Consultar um médico.

**Contacto com os olhos:** Com as pálpebras abertas, lavar imediata e abundantemente com água (mínimo 15 minutos).  
Consultar imediatamente um oftalmologista.

**Ingestão:** Lavar a boca, beber grandes quantidades de água.  
Não provocar o vômito.  
Consultar imediatamente o médico

---

## 5. MEDIDAS DE COMBATE A INCÊNDIOS

**Perigos Específicos:** A alta temperatura pode haver decomposição e pode haver formação de pequenas quantidades de cloreto de hidrogénio.  
**Decomposição térmica do produto:** ácido clorídrico (HCL) e Óxidos de Enxofre (SOx)

**Métodos de actuação:** Arrefecer os recipientes por pulverização de água.

**Equipamento de protecção para combate de incêndio:**  
Utilizar equipamento respiratório individual e fato de protecção.

**Outras informações:** Não são necessários meios especiais e o produto não é combustível

---

## 6. MEDIDAS A TOMAR EM CASO DE FUGAS ACIDENTAIS

**Precauções individuais:** Evitar o contacto com a pele e os olhos.

**Precauções ambientais:** Controlar o derrame de forma a evitar a sua entrada nos esgotos ou nas águas de superfície.  
Evitar a contaminação da água do subsolo.

**Métodos de limpeza:** Pequenas quantidades: lavar com água e recuperá-la.  
**Recuperação:** Absorver com areia, terra.  
Depois de limpar, lavar os resíduos com água.  
**Neutralização:** Neutralizar com Cal até que fique uma massa sólida

---

## 7. MANUSEAMENTO E ARMAZENAGEM

**Manuseamento:**  
**Medidas Técnicas:** A elevada concentração de vapores/nevoeiro:  
Prever ventilação e evacuação adequadas ao nível dos equipamentos.  
Prever chuveiros e lava-olhos.  
Prever postos de água.

**Recomendação de segurança:** As usuais para manuseamento de produtos químicos.



**Armazenagem:**

Medidas Técnicas: Guardar o recipiente hermeticamente fechado em lugar seco e bem ventilado.

Condições de armazenagem: Evitar temperaturas altas devido e temperaturas muito baixas ( 5 e 35.ºC)  
Prever uma bacia de retenção e chão impermeável resistentes à corrosão com escoamento para uma fossa de neutralização.

**Material de embalagem:**

Aconselhados: Plástico (PE;PP;PVC) Poliéster reforçado com fibra de vidro, Aço revestido com borracha  
Tonéis metálicos revestidos interiormente com resina epoxi.

A evitar: Cloritos, Hipoclorito, Sulfitos e Ferro.

Estabilidade em armazém: Mínimo de 12 meses

---

**8. CONTROLO DE EXPOSIÇÃO/PROTECÇÃO INDIVIDUAL****Valores limites de exposição**

**Sulfato Aquosa Sulfato Hidróxido Cloreto de Alumínio**

TWA = 2 mg/m<sup>3</sup> Calculado com Al

**Equipamento de protecção individual:**

Protecção das mãos: Luvas, cuja grossura não poderá ser inferior a 1,2 mm

Protecção dos olhos: Óculos de segurança

Protecção da pele: Fato de protecção. Botas de segurança.

Protecção respiratória: O manuseamento normal não necessita de protecção, se formar névoa ao limpar contentores deve – se utilizar mascara com filtro P2

Medidas de higiene específicas: Evitar o contacto com a pele e olhos.

**Medidas técnicas:** Prever um arejamento adequado e/ou ventilação nos locais de Trabalho

---

## 9. PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS

Aspecto:	Líquido amarelo Claro
Odor:	Não significativo
pH:	3.8 – 4.2
Ponto de Cristalização	- 15.°C
Ponto de ebulição:	110 - 120 °C
Ponto de Inflamação:	Não inflamável
Densidade relativa(agua =1)	1,19 – 1,23 a 20.°C
Solubilidade:	Totalmente solúvel em água a 20.°C
Temperatura de decomposição	Superior a 200 .° C

### Propriedades Explosivas

- Explosividade: Não relevante, tendo em conta a sua estrutura
- Coeficiente de repartição n- octano/água: Não aplicável, composto

inorgânico.

## 10. ESTABILIDADE E REACTIVIDADE

<b>Substâncias a evitar:</b>	Cloritos, Hipocloritos, Sulfitos, Ferro.
<b>Produtos decomposição:</b>	Acido Clorídrico (HCL) e Óxidos de Enxofre (SOx)
<b>Decomposição térmica:</b>	Superior a 200.°C

## 11. INFORMAÇÕES TOXICOLÓGICAS

### Alta toxicidade

#### **Solução Aquosa Sulfato Hidróxido Cloreto de Alumínio:**

DL50/Oral/rato:  $\geq 5000$  mg/ Kg

Observação: (solução 30%)

Ingestão:	Irritação do tubo digestivo, náuseas. Risco de perfuração das vias digestivas.
Inalação:	Corrosivo para as vias respiratórias.
Contacto com a pele:	Provoca irritação e pele seca.

### **Toxicidade específica em determinados órgãos**

#### **Exposição Única**

Inalação:	Corrosivo para as vias respiratórias, provocando tosse
-----------	--

**Exposição Repetida** A substancia ou mistura não se classifica como tóxica de órgãos, Efeitos locais ligados a efeitos irritantes

<b>Cancerigenocidade:</b>	Não classificado como cancerígeno
---------------------------	-----------------------------------

## 12. INFORMAÇÕES ECOLÓGICAS

**Persistência e degradabilidade:** Os métodos de determinação da degradabilidade biológica não são aplicáveis a substâncias inorgânicas.

### **Degradabilidade Biológica: Solução Aquosa Sulfato Hidróxido Cloreto de Alumínio**

Os métodos de determinação da degradabilidade biológica não são aplicáveis a substâncias inorgânicas.

### **Potencial de bioacumulação**

Coeficiente de repartição n- octano/água: Não aplicável, composto inorgânico

### **Resultados de avaliação PBT e mPmB**

Pode baixar o pH da água e por tanto pode ser prejudicial para os organismos aquáticos

---

## 13. CONSIDERAÇÕES SOBRE A ELIMINAÇÃO

**Produto:** Classificado como resíduo perigoso, deve ser tratado de acordo com a lei em vigor

**Embalagens contaminadas:** Classificado como resíduo perigoso, deve ser tratado de acordo com a lei em vigor

---

#### 14. INFORMAÇÕES RELATIVAS AO TRANSPORTE

Designação Oficial de Transporte: Líquido Inorgânico Corrosivo, Ácido, N.E.P. (Sulfato hidróxido cloreto de alumínio)

**ADR / RID/ IATA Cargo/ IATA Passenger / IMDG**

N.º ONU: 3264  
N.º Perigo: 80  
Classe: 8  
Grupo embalagem: III  
Etiqueta(s): 8  
Perigoso ambientalmente: Não é um poluente marítimo

Designação transporte marítima IMDG e aéreo ICAO/IATA

- UN 3264, Corrosive liquid, acidic, inorganic n.o.s. (Aluminium Chloride Hydroxide Sulphate)

O produto é classificado como mercadoria perigosa por ser ligeiramente corrosivo a metais.

---

#### 15. INFORMAÇÕES REGULAMENTARES

Regulamentação e legislação em matéria de segurança, saúde e meio ambiente específico para a substância e misturas

O produto está classificado e etiquetado de acordo com as directivas da EU e respectivas leis nacionais.

---

#### 16. OUTRAS INFORMAÇÕES

**Texto integral das frases R, e Declarações H referidas nos pontos 2 e 3**

**R36 / R38 Irrita os olhos e a pele**

**H319 Provoca irritação ocular grave**

**H315 Provoca irritação cutânea**

Todas as informações constantes desta ficha estão baseadas nos conhecimentos actuais.

A Quimitejo não aceita qualquer responsabilidade pelo uso que possa ser feito destas informações.

## ANEXO B – Resultados obtidos nos ensaios efetuados e respectivas condições de água bruta clorada

### B.1 Sulfato de Alumínio

**B.1. 1 - Características da água bruta clorada utilizada para os ensaios de sulfato de alumínio (100X) sem ajustes de pH**

Água bruta clorada	
pH	6,11
Ferro (mg/L)	5,25
Manganês (mg/L)	0,38
Turvação (UNT)	9,78

**B.1. 2 - Resultados obtidos nos ensaios de sulfato de alumínio (100X) sem ajustes de pH**

Sulfato de Alumínio (100X)				
Volume de coagulante adicionado (ml)	0,5	1	1,5	2
Alumínio (mg/L)		0,007		
Ferro (mg/L)	0,759	0,806	0,951	0,972
Manganês (mg/L)	0,277	0,270	0,279	0,281
Turvação (UNT)	2,90	2,77	3,60	4,57
pH final	6,18	6,16	6,17	5,96
Tamanho dos Flocos (inspeção visual)	Pequenos	Pequenos	Pequenos	Pequenos
Velocidade de sedimentação (inspeção visual)	Lenta	Lenta	Lenta	Lenta
%Remoção turvação	70,35	71,68	63,19	53,27
%Remoção do ferro	85,54	84,65	81,89	81,49
%Remoção do manganês	27,11	28,95	26,58	26,05

**B.1. 3 - Resultados obtidos nos ensaios de sulfato de alumínio (100X) sem ajustes de pH**

Sulfato de Alumínio (100X)				
Volume de coagulante adicionado (ml)	0,6	0,7	0,8	0,9
Alumínio (mg/L)	0,005	0,006	0,006	0,008
Ferro (mg/L)	0,726	0,706	0,758	0,801
Manganês (mg/L)	0,274	0,269	0,274	0,282
Turvação (UNT)	2,66	2,80	2,50	3,12
pH final	6,11	6,08	6,06	6,07
Tamanho dos Flocos (inspeção visual)	Pequenos	Pequenos	Pequenos	Pequenos
Velocidade de sedimentação (inspeção visual)	Lenta	Lenta	Lenta	Lenta
%Remoção turvação	72,80	71,37	74,44	68,10
%Remoção do ferro	86,17	86,55	85,56	84,74
%Remoção do manganês	27,89	29,21	27,89	25,79

**B.1. 4 - Características da água bruta clorada utilizada para os ensaios de sulfato de alumínio (100X) com ajuste de pH para 7,5**

<b>Água bruta clorada</b>	
pH	6,30
Ferro (mg/L)	5,40
Manganês (mg/L)	0,278
Turvação (UNT)	17,8

**B.1. 5 - Resultados obtidos nos ensaios de sulfato de alumínio (100X) com ajuste de pH para 7,5**

<b>WAC AB (100X) com ajuste de pH <math>\approx</math> 7,5</b>				
Volume de coagulante adicionado (ml)	0,5	1	1,5	2
Alumínio (mg/L)				
Ferro (mg/L)				
Manganês (mg/L)				
Turvação (UNT)	8,57	8,03	7,13	6,22
pH final				
Tamanho dos Flocos (inspeção visual)	Grandes	Grandes	Grandes	Grandes
Velocidade de sedimentação (inspeção visual)	Rápida	Rápida	Rápida	Rápida
%Remoção turvação	51,85	54,89	59,94	65,06
%Remoção do ferro				
%Remoção do manganês				

**B.1. 6 - Resultados obtidos nos ensaios de sulfato de alumínio (100X) com ajuste de pH para 7,5**

<b>WAC AB (100X) com ajuste de pH <math>\approx</math> 7,5</b>				
Volume de coagulante adicionado (ml)	3	3,5	4	4,5
Alumínio (mg/L)				
Ferro (mg/L)				
Manganês (mg/L)				
Turvação (UNT)	6,25	4,80	4,83	3,06
pH final				
Tamanho dos Flocos (inspeção visual)	Médios	Médios	Médios	Médios
Velocidade de sedimentação (inspeção visual)	Rápida	Rápida	Rápida	Rápida
%Remoção turvação	64,89	73,03	72,87	82,81
%Remoção do ferro				
%Remoção do manganês				

**B.1. 7 - Características da água bruta clorada utilizada para os ensaios de sulfato de alumínio (50X) sem ajustes de pH**

<b>Água bruta clorada</b>	
pH	6,35
Ferro (mg/L)	4,951
Manganês (mg/L)	0,459
Turvação (UNT)	13,8

**B.1. 8 - Resultados obtidos nos ensaios de sulfato de alumínio (50X) sem ajustes de pH**

<b>Sulfato de Alumínio (50X)</b>				
Volume de coagulante adicionado (ml)	2,5	3	3,5	4
Alumínio (mg/L)	0,886	0,943	0,988	1,14
Ferro (mg/L)	0,711	0,735	0,754	0,703
Manganês (mg/L)	0,035	0,073	0,076	0,088
Turvação (UNT)	3,39	4,19	4,39	2,85
pH final	5,34	5,11	4,96	4,88
Tamanho dos Flocos (inspeção visual)	Muito Pequenos	Muito Pequenos	Muito Pequenos	Muito Pequenos
Velocidade de sedimentação (inspeção visual)	Muito Lenta	Muito Lenta	Muito Lenta	Muito Lenta
%Remoção turvação	75,43	69,64	68,19	79,35
%Remoção do ferro	85,64	85,15	84,77	85,80
%Remoção do manganês	92,37	84,10	83,44	80,83

**B.1. 9 - Características da água bruta clorada utilizada para os ensaios de sulfato de alumínio (50X) com ajuste de pH para 7,5**

<b>Água bruta clorada</b>	
pH	6,35
Ferro (mg/L)	4,951
Manganês (mg/L)	0,459
Turvação (UNT)	13,8

**B.1. 10 - Resultados obtidos nos ensaios de sulfato de alumínio (50X) com ajuste de pH para 7,5**

<b>Sulfato de Alumínio (50X) com ajuste de pH <math>\approx</math> 7,5</b>				
Volume de coagulante adicionado (ml)	2,5	3	3,5	4
Alumínio (mg/L)	0,053	0,035		
Ferro (mg/L)	0,077	0,078		
Manganês (mg/L)	0,082	0,083		
Turvação (UNT)	0,761	0,754	1,04	0,835
pH final	7,03	6,86	6,84	6,77
Tamanho dos Flocos (inspeção visual)	Pequenos	Pequenos	Pequenos	Pequenos
Velocidade de sedimentação (inspeção visual)	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada
%Remoção turvação	94,49	94,54	92,46	93,95
%Remoção do ferro	98,44	98,42		
%Remoção do manganês	82,14	81,92		

**B.1. 11 - Resultados obtidos nos ensaios de sulfato de alumínio (50X) com ajuste de pH para 7,5**

<b>Sulfato de Alumínio (50X) com ajuste de pH <math>\approx</math> 7,5</b>				
Volume de coagulante adicionado (ml)	2,2	2,4	2,6	2,8
Alumínio (mg/L)	0,084	0,069	0,099	0,103
Ferro (mg/L)	0,053	0,046	0,123	0,165
Manganês (mg/L)	0,006	0,004	0,011	0,014
Turvação (UNT)	0,541	0,528	0,671	0,699
pH final	6,99	7,01	6,98	6,92
Tamanho dos Flocos (inspeção visual)	Médios	Médios	Médios	Médios
Velocidade de sedimentação (inspeção visual)	Rápida	Rápida	Rápida	Rápida
%Remoção turvação	96,080	96,174	95,138	94,935
%Remoção do ferro	98,93	99,07	97,52	96,67
%Remoção do manganês	98,69	99,13	97,60	96,95



**B.1. 12 - Características da água bruta clorada utilizada para os ensaios de sulfato de alumínio (50X) com ajuste de pH para 8,0**

<b>Água bruta clorada</b>	
pH	6,35
Ferro (mg/L)	4,951
Manganês (mg/L)	0,459
Turvação (UNT)	13,8

**B.1. 13 - Resultados obtidos nos ensaios de sulfato de alumínio (50X) com ajuste de pH para 8,0**

<b>Sulfato de Alumínio (50X) com ajuste de pH <math>\approx</math> 8,0</b>				
Volume de coagulante adicionado (ml)	3	3,5	4	4,5
Alumínio (mg/L)	0,085			
Ferro (mg/L)	0,030	0,050	0,078	0,052
Manganês (mg/L)	0,051	0,052	0,065	0,065
Turvação (UNT)	0,469	0,609	0,728	0,631
pH final	7,08	7,19	7,14	6,78
Tamanho dos Flocos (inspeção visual)	Médios	Médios	Médios	Médios
Velocidade de sedimentação (inspeção visual)	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada
%Remoção turvação	96,60	95,59	94,72	95,43
%Remoção do ferro	99,39	98,99	98,42	98,95
%Remoção do manganês	88,89	88,67	85,84	85,84

**B.1. 14 - Resultados obtidos nos ensaios de sulfato de alumínio (50X) com ajuste de pH para 8,0**

<b>Sulfato de Alumínio (50X) com ajuste de pH <math>\approx</math> 8,0</b>				
Volume de coagulante adicionado (ml)	2,5	2,8	2,9	3,1
Alumínio (mg/L)	0,095	0,069	0,075	0,098
Ferro (mg/L)	0,044	0,04	0,082	0,09
Manganês (mg/L)	0,067	0,065	0,070	0,069
Turvação (UNT)	0,672	0,681	0,727	0,749
pH final	7,2	7,09	7,05	6,97
Tamanho dos Flocos (inspeção visual)	Grandes	Grandes	Grandes	Grandes
Velocidade de sedimentação (inspeção visual)	Rápida	Rápida	Rápida	Rápida
%Remoção turvação	95,13	95,07	94,73	94,57
%Remoção do ferro	99,11	99,19	98,34	98,18
%Remoção do manganês	85,40	85,84	84,75	84,97

## B.2 Polihidroxiclorosulfato de alumínio - WAC AB

### B.2. 1 - Características da água bruta clorada utilizada para os ensaios de WAC AB (100X) sem ajustes de pH

Água bruta clorada	
pH	6,11
Ferro (mg/L)	5,25
Manganês (mg/L)	0,38
Turvação (UNT)	9,78

### B.2. 2 - Resultados obtidos nos ensaios de WAC AB (100X) sem ajuste de pH

WAC AB (100X)				
Volume de coagulante adicionado (ml)	0,5	1	1,5	2
Alumínio (mg/L)	0,003			
Ferro (mg/L)	0,671	0,688	0,703	0,711
Manganês (mg/L)	0,167	0,179	0,194	0,197
Turvação (UNT)	2,08	2,83	3,57	3,65
pH final	6,05	5,99	5,96	5,96
Tamanho dos Flocos (inspeção visual)	Médios	Médios	Pequenos	Pequenos
Velocidade de sedimentação (inspeção visual)	Moderada	Moderada	Lenta	Lenta
%Remoção turvação	78,73	71,06	63,50	62,68
%Remoção do ferro	87,22	86,90	86,61	86,46
%Remoção do manganês	56,05	52,89	48,95	48,16

### B.2. 3 - Resultados obtidos nos ensaios de WAC AB (100X) sem ajuste de pH

WAC AB (100X)				
Volume de coagulante adicionado (ml)	0,3	0,4	0,6	0,7
Alumínio (mg/L)	0,000	0,003	0,009	0,012
Ferro (mg/L)	0,525	0,495	0,470	0,554
Manganês (mg/L)	0,215	0,257	0,257	0,257
Turvação (UNT)	1,56	1,52	1,87	2,00
pH final	6,42	6,27	6,30	6,27
Tamanho dos Flocos (inspeção visual)	Pequenos	Pequenos	Pequenos	Médios
Velocidade de sedimentação (inspeção visual)	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada
%Remoção turvação	84,05	84,46	80,88	79,55
%Remoção do ferro	90,00	90,57	91,05	89,45
%Remoção do manganês	43,42	32,37	32,37	32,37

**B.2. 4 - Características da água bruta clorada utilizada para os ensaios de WAC AB (100X) com ajustes de pH para 7,5**

<b>Água bruta clorada</b>	
pH	6,30
Ferro (mg/L)	5,40
Manganês (mg/L)	0,278
Turvação (UNT)	17,8

**B.2. 5 - Resultados obtidos nos ensaios de WAC AB (100X) com ajuste de pH para 7,5**

<b>WAC AB (100X) com ajuste de pH <math>\approx</math> 7,5</b>				
Volume de coagulante adicionado (ml)	0,5	1	1,5	2
Alumínio (mg/L)				
Ferro (mg/L)				
Manganês (mg/L)				
Turvação (UNT)	8,80	7,94	4,00	4,22
pH final				
Tamanho dos Flocos (inspeção visual)	Grandes	Grandes	Grandes	Grandes
Velocidade de sedimentação (inspeção visual)	Rápida	Rápida	Rápida	Rápida
%Remoção turvação	50,56	18,81	59,10	56,85
%Remoção do ferro				
%Remoção do manganês				

**B.2. 6 - Resultados obtidos nos ensaios de WAC AB (100X) com ajuste de pH para 7,5**

<b>WAC AB (100X) com ajuste de pH <math>\approx</math> 7,5</b>				
Volume de coagulante adicionado (ml)	3	3,5	4	4,5
Alumínio (mg/L)				
Ferro (mg/L)				
Manganês (mg/L)				
Turvação (UNT)	3,70	4,30	3,11	3,50
pH final				
Tamanho dos Flocos (inspeção visual)	Médios	Médios	Médios	Médios
Velocidade de sedimentação (inspeção visual)	Rápida	Rápida	Rápida	Rápida
%Remoção turvação	79,21	56,03	68,20	64,21
%Remoção do ferro				
%Remoção do manganês				

**B.2. 7 - Características da água bruta clorada utilizada para os ensaios de WAC AB (50X) sem ajustes de pH**

<b>Água bruta clorada</b>	
ph	6,35
Ferro (mg/L)	4,951
Manganês (mg/L)	0,459
Turvação (UNT)	13,8

**B.2. 8 - Resultados obtidos nos ensaios de WAC AB (50X) sem ajuste de pH**

<b>WAC AB (50X)</b>				
Volume de coagulante adicionado (ml)	2,5	3	3,5	4
Alumínio (mg/L)	0,179	0,165	0,169	0,271
Ferro (mg/L)	0,495	0,495	0,347	0,579
Manganês (mg/L)	0,107	0,102	0,101	0,066
Turvação (UNT)	2,25	2,09	1,67	2,06
pH final	6,37	6,17	6,15	6,12
Tamanho dos Flocos (inspeção visual)	Pequenos	Pequenos	Pequenos	Pequenos
Velocidade de sedimentação (inspeção visual)	Lenta	Lenta	Lenta	Lenta
%Remoção turvação	83,70	84,86	87,90	85,07
%Remoção do ferro	90,00	90,00	92,99	88,31
%Remoção do manganês	76,69	77,78	78,00	85,62

**B.2. 9 - Características da água bruta clorada utilizada para os ensaios de WAC AB (50X) com ajustes de pH para 7,5**

<b>Água bruta clorada</b>	
pH	6,30
Ferro (mg/L)	5,40
Manganês (mg/L)	0,278
Turvação (UNT)	17,8

**B.2. 10 - Resultados obtidos nos ensaios de WAC AB (50X) com ajuste de pH para 7,5**

<b>WAC AB (50X) com ajuste de pH ≈ 7,5</b>				
Volume de coagulante adicionado (ml)	2,5	3	3,5	4
Alumínio (mg/L)			0,156	0,177
Ferro (mg/L)	0,196	0,222	0,273	0,188
Manganês (mg/L)	0,278	0,201	0,117	0,125
Turvação (UNT)	1,54	1,64	1,25	0,900
pH final	7,19	7,08	7,11	7,05
Tamanho dos Flocos (inspeção visual)	Médios	Médios	Grandes	Grandes
Velocidade de sedimentação (inspeção visual)	Moderada	Moderada	Rápida	Rápida
%Remoção turvação	91,35	90,79	92,98	94,94
%Remoção do ferro	96,37	95,89	94,94	96,52
%Remoção do manganês	100,00	27,70	57,91	55,04

**B.2. 11 - Resultados obtidos nos ensaios de WAC AB (50X) com ajuste de pH para 7,5**

<b>WAC AB (50X) com ajuste de pH ≈ 7,5</b>				
Volume de coagulante adicionado (ml)	3,8	3,9	4,1	4,2
Alumínio (mg/L)	0,156	0,148	0,146	0,161
Ferro (mg/L)	0,220	0,224	0,240	0,229
Manganês (mg/L)	0,102	0,100	0,105	0,099
Turvação (UNT)	1,22	1,10	1,11	0,95
pH final	7,10	7,24	7,20	7,19
Tamanho dos Flocos (inspeção visual)	Grandes	Grandes	Grandes	Grandes
Velocidade de sedimentação (inspeção visual)	Rápida	Rápida	Rápida	Rápida
%Remoção turvação	93,15	92,03	91,96	93,15
%Remoção do ferro	95,93	95,85	95,56	95,76
%Remoção do manganês	63,31	64,03	62,23	64,39

**B.2. 12 - Características da água bruta clorada utilizada para os ensaios de WAC AB (50X) com ajustes de pH para 8,0, para taxas de tratamentos iniciais (3, 3.5, 4 e 4.5 ml)**

Água bruta clorada	
pH	6,30
Ferro (mg/L)	5,40
Manganês (mg/L)	0,278
Turvação (UNT)	17,8

**B.2. 13 - Resultados obtidos nos ensaios de WAC AB (50X) com ajuste de pH para 8,0**

WAC AB (50X) com ajuste de pH $\approx$ 8,0				
Volume de coagulante adicionado (ml)	3	3,5	4	4,5
Alumínio (mg/L)			0,187	0,169
Ferro (mg/L)	0,075	0,07	0,068	0,048
Manganês (mg/L)	0,076	0,086	0,083	0,065
Turvação (UNT)	0,917	1,03	0,662	0,611
pH final	7,13	7,19	7,23	7,18
Tamanho dos Flocos (inspeção visual)	Grandes	Grandes	Grandes	Grandes
Velocidade de sedimentação (inspeção visual)	Rápida	Rápida	Rápida	Rápida
%Remoção turvação	94,85	94,21	96,28	96,57
%Remoção do ferro	98,61	98,70	98,74	99,11
%Remoção do manganês	72,66	69,06	70,14	76,62

**B.2. 14 - Características da água bruta clorada utilizada para os ensaios de WAC AB (50X) com ajustes de pH para 8,0, para taxas de tratamentos iniciais (4.3, 4.4, 4.6 e 4.7 ml)**

Água bruta clorada	
pH	6,35
Ferro (mg/L)	4,951
Manganês (mg/L)	0,459
Turvação (UNT)	13,8

**B.2. 15 - Resultados obtidos nos ensaios de WAC AB (50X) com ajuste de pH para 8,0**

WAC AB (50X) com ajuste de pH $\approx$ 8,0				
Volume de coagulante adicionado (ml)	4,3	4,4	4,6	4,7
Alumínio (mg/L)	0,096	0,19	0,139	0,138
Ferro (mg/L)	0,072	0,122	0,112	0,039
Manganês (mg/L)	0,049	0,056	0,058	0,056
Turvação (UNT)	0,621	0,727	0,923	0,888
pH final	7,36	7,31	7,37	7,41
Tamanho dos Flocos (inspeção visual)	Médios	Médios	Médios	Médios
Velocidade de sedimentação (inspeção visual)	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada
%Remoção turvação	95,50	94,73	93,31	93,57

%Remoção do ferro	98,55	97,54	97,74	99,21
%Remoção do manganês	89,32	87,80	87,36	87,80

### B.3 Solução Aquosa de Sulfato Hidróxido Cloreto de Alumínio - WAC

B.3. 1- Características da água bruta clorada utilizada para os ensaios de WAC (100X) sem ajustes de pH

Água bruta clorada	
pH	6,11
Ferro (mg/L)	5,25
Manganês (mg/L)	0,38
Turvação (UNT)	9,78

B.3. 2 - Resultados obtidos nos ensaios de WAC (100X) sem ajuste de pH

WAC (100X)				
Volume de coagulante adicionado (ml)	0,5	1	1,5	2
Alumínio (mg/L)	0,002			
Ferro (mg/L)	0,545	0,576	0,603	0,605
Manganês (mg/L)	0,160	0,167	0,183	0,187
Turvação (UNT)	1,91	3,20	3,64	4,15
pH final	6,18	6,18	6,07	6,07
Tamanho dos Flocos (inspeção visual)	Médios	Médios	Pequenos	Pequenos
Velocidade de sedimentação (inspeção visual)	Moderada	Moderada	Lenta	Lenta
%Remoção turvação	80,47	67,28	62,78	57,57
%Remoção do ferro	89,62	89,03	88,51	88,48
%Remoção do manganês	57,89	56,05	51,84	50,79

B.3. 3 - Resultados obtidos nos ensaios de WAC (100X) sem ajuste de pH

WAC (100X)				
Volume de coagulante adicionado (ml)	0,3	0,4	0,6	0,7
Alumínio (mg/L)	0,002	0,003	0,005	0,005
Ferro (mg/L)	0,790	0,748	0,753	0,67
Manganês (mg/L)	0,261	0,267	0,271	0,176
Turvação (UNT)	2,40	2,58	2,27	2,24
pH final	6,25	6,22	6,20	6,22
Tamanho dos Flocos (inspeção visual)	Pequenos	Pequenos	Pequenos	Médios
Velocidade de sedimentação (inspeção visual)	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada
%Remoção turvação	75,46	73,62	76,79	77,10
%Remoção do ferro	84,95	85,75	85,66	87,24
%Remoção do manganês	31,32	29,74	28,68	53,68

**B.3. 4 - Características da água bruta clorada utilizada para os ensaios de WAC (100X) com ajustes de pH para 7,5**

Água bruta clorada	
pH	6,30
Ferro (mg/L)	5,40
Manganês (mg/L)	0,278
Turvação (UNT)	17,8

**B.3. 5 - Resultados obtidos nos ensaios de WAC (100X) com ajuste de pH para 7,5**

WAC (100X) com ajuste de pH $\approx$ 7,5				
Volume de coagulante adicionado (ml)	0,5	1	1,5	2
Alumínio (mg/L)				
Ferro (mg/L)				
Manganês (mg/L)				
Turvação (UNT)	4,89	2,66	3,47	4,00
pH final				
Tamanho dos Flocos (inspeção visual)	Médios	Médios	Médios	Médios
Velocidade de sedimentação (inspeção visual)	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada
%Remoção turvação	72,53	85,06	80,51	77,53
%Remoção do ferro				
%Remoção do manganês				

**B.3. 6 - Resultados obtidos nos ensaios de WAC (100X) com ajuste de pH para 7,5**

WAC (100X) com ajuste de pH $\approx$ 7,5				
Volume de coagulante adicionado (ml)	3	3,5	4	4,5
Alumínio (mg/L)				
Ferro (mg/L)				
Manganês (mg/L)				
Turvação (UNT)	3,03	2,45	2,65	2,09
pH final				
Tamanho dos Flocos (inspeção visual)	Médios	Médios	Médios	Médios
Velocidade de sedimentação (inspeção visual)	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada
%Remoção turvação	82,98	86,24	85,11	88,26
%Remoção do ferro				
%Remoção do manganês				



**B.3. 7 - Características da água bruta clorada utilizada para os ensaios de WAC (50X) sem ajustes de pH**

<b>Água bruta clorada</b>	
pH	6,35
Ferro (mg/L)	4,951
Manganês (mg/L)	0,459
Turvação (UNT)	13,8

**B.3. 8 - Resultados obtidos nos ensaios de WAC (50X) sem ajuste de pH**

<b>WAC (50X)</b>				
Volume de coagulante adicionado (ml)	2,5	3	3,5	4
Alumínio (mg/L)	0,104	0,113	0,131	0,171
Ferro (mg/L)	0,712	0,766	0,734	0,746
Manganês (mg/L)	0,158	0,150	0,128	0,136
Turvação (UNT)	3,61	3,79	3,67	3,32
pH final	6,18	6,04	5,88	5,77
Tamanho dos Flocos (inspeção visual)	Pequenos	Pequenos	Pequenos	Pequenos
Velocidade de sedimentação (inspeção visual)	Lenta	Lenta	Lenta	Lenta
%Remoção turvação	73,84	72,54	73,41	75,94
%Remoção do ferro	85,62	84,53	85,17	84,93
%Remoção do manganês	65,58	67,32	72,11	70,37

**B.3. 9 - Características da água bruta clorada utilizada para os ensaios de WAC (50X) com ajustes de pH para 7,5**

<b>Água bruta clorada</b>	
pH	6,30
Ferro (mg/L)	5,40
Manganês (mg/L)	0,278
Turvação (UNT)	17,8

**B.3. 10 - Resultados obtidos nos ensaios de WAC (50X) com ajuste de pH para 7,5**

<b>WAC (50X) com ajuste de pH <math>\approx</math> 7,5</b>				
Volume de coagulante adicionado (ml)	2,5	3,0	3,5	4,0
Alumínio (mg/L)			0,103	0,114
Ferro (mg/L)	0,357	0,257	0,203	0,135
Manganês (mg/L)	0,010	0,095	0,085	0,062
Turvação (UNT)	1,84	1,37	1,08	0,791
pH final	6,97	7,02	7,02	7,05
Tamanho dos Flocos (inspeção visual)	Médios	Médios	Grandes	Grandes
Velocidade de sedimentação (inspeção visual)	Lenta	Lenta	Rápida	Rápida
%Remoção turvação	89,66	92,30	93,93	95,56
%Remoção do ferro	93,39	95,24	96,24	97,50
%Remoção do manganês	96,37	65,83	69,42	77,70

**B.3. 11 - Resultados obtidos nos ensaios de WAC (50X) com ajuste de pH para 7,5**

<b>WAC (50X) com ajuste de pH <math>\approx</math> 7,5</b>				
Volume de coagulante adicionado (ml)	3,8	3,9	4,1	4,2
Alumínio (mg/L)	0,087	0,097	0,09	0,054
Ferro (mg/L)	0,106	0,184	0,158	0,102
Manganês (mg/L)	0,065	0,055	0,056	0,048
Turvação (UNT)	1,11	1,03	0,99	0,515
pH final	7,05	7,04	6,88	6,58
Tamanho dos Flocos (inspeção visual)	Médios	Médios	Grandes	Grandes
Velocidade de sedimentação (inspeção visual)	Lenta	Lenta	Rápida	Rápida
%Remoção turvação	93,76	94,21	94,44	97,11
%Remoção do ferro	98,04	96,59	97,07	98,11
%Remoção do manganês	76,62	80,22	79,86	82,73

**B.3. 12 - Características da água bruta clorada utilizada para os ensaios de WAC (50X) com ajustes de pH para 8,0**

<b>Água bruta clorada</b>	
pH	6,30
Ferro (mg/L)	5,40
Manganês (mg/L)	0,278
Turvação (UNT)	17,8

**B.3. 13 - Resultados obtidos nos ensaios de WAC (50X) com ajuste de pH para 8,0**

<b>WAC (50X) com ajuste de pH <math>\approx</math> 8,0</b>				
Volume de coagulante adicionado (ml)	3	3,5	4	4,5
Alumínio (mg/L)			0,165	
Ferro (mg/L)	0,187	0,135	0,103	0,097
Manganês (mg/L)	0,057	0,045	0,044	0,051
Turvação (UNT)	0,976	0,752	0,659	0,755
pH final	7,07	7,17	7,07	7,09
Tamanho dos Flocos (inspeção visual)	Médios	Grandes	Grandes	Grandes
Velocidade de sedimentação (inspeção visual)	Lenta	Rápida	Rápida	Rápida
%Remoção turvação	94,52	95,78	96,30	95,76
%Remoção do ferro	96,54	97,50	98,09	98,20
%Remoção do manganês	79,50	83,81	84,17	81,65

**B.3. 14 - Resultados obtidos nos ensaios de WAC (50X) com ajuste de pH para 8,0**

<b>WAC (50X) com ajuste de pH <math>\approx</math> 8,0</b>				
Volume de coagulante adicionado (ml)	3,8	3,9	4,1	4,2
Alumínio (mg/L)	0,106	0,104	0,084	0,086
Ferro (mg/L)	0,080	0,105	0,075	0,065
Manganês (mg/L)	0,035	0,042	0,045	0,049
Turvação (UNT)	0,783	0,800	0,817	0,803
pH final	7,33	7,27	7,20	7,18
Tamanho dos Flocos (inspeção visual)	Grandes	Grandes	Grandes	Grandes
Velocidade de sedimentação (inspeção visual)	Rápida	Rápida	Rápida	Rápida
%Remoção turvação	95,60	95,51	95,41	95,49
%Remoção do ferro	98,52	98,06	98,61	98,80
%Remoção do manganês	87,41	84,89	83,81	82,37

